

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Optimalizace a analýza provozu v mobilních sítích pomocí
nástroje R&S ROMES4**

**Optimization and Analysis of Traffic in Mobile Network Using
the R&S ROMES4 Tool**

2013

David Němec

Zadání bakalářské práce

Student:

David Němec

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Optimalizace a analýza provozu v mobilních sítích pomocí nástroje R&S
ROMES4
Optimization and Analysis of Traffic in Mobile Network Using the R&S
ROMES4 Tool

Zásady pro vypracování:

1. Popište možnosti a nastavení nástroje ROMES4.
2. Proveďte detailní rozbor signalizace v režimech idle a dedicated v mobilní síti GSM a UMTS pomocí nástroje ROMES4.
3. Vytvořte 2 komplexní úlohy pro cvičení odborného předmětu.

Seznam doporučené odborné literatury:

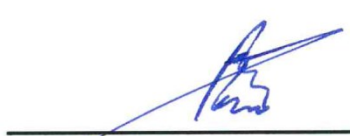
R&S ROMES4 Drive Test Software. R&S ROMES4 Drive Test Software [online]. [cit. 2012-10-16].
Dostupné z: <http://www2.rohde-schwarz.com/product/romes.html>

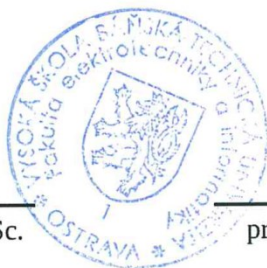
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Michalek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 7. 5. 2013


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Liborovi Michalkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na signalizaci ve 2G a 3G sítích a její analýzu. Zaměřuje se na signalizaci ve vzdušném rozhraní mezi mobilním zařízením a vysílačem. Signalizace je analyzována z naměřených dat pomocí nástroje R&S ROMES.

Data jsou naměřena z komunikace v sítích 2G a 3G. Před analýzou je teoreticky popsán průběh analyzovaného záznamu a postup navazování spojení. Naměřená data z 2G sítě obsahují signalizaci během sestavování hovoru a při provedení handoveru. Naměřená data z 3G sítě obsahují signalizaci během navazování paketového spojení.

Autor u provedených analýz popisuje použité nástroje ze softwarového nástroje R&S ROMES.

Práce obsahuje dvě komplexní zadání pro odborný předmět. Zadání jsou zaměřená na analýzu signalizace v 2G a 3G síti. V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky provedené analýzy a jsou popsány možnosti budoucího rozšíření práce.

Klíčová slova

Analýza signalizace, R&S ROMES, 2G, 3G, GSM, UMTS, HSDPA

Abstract

This work is focused on signaling in 2G and 3G networks and its analysis. It focuses on the air interface signaling between a mobile device and transmitter. Signaling is analyzed from the measured data using the R&S ROMES.

Data are measured from the communication in 2G and 3G networks. Before analyzing is in theory described progress of analyzed record and procedure of connection setup. The measured data from 2G network contain signaling during call setup and during handover. The measured data from 3G network contain signaling during packet connection setup. Author in the analysis describes the tools used in software R&S ROMES.

The work includes two complex tasks for scholarly subject. Tasks are focused on the analysis of signaling in 2G and 3G networks. The conclusion summarizes the results of the analysis and describes options of future extending.

Key words

Analysis of signaling, R&S ROMES, 2G, 3G, GSM, UMTS, HSDPA

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
1xEV-DO, Rev. A	Enhanced Voice-Data Optimized	Vylepšený přenos hlasu a dat
2G	2rd Generation	2. generace
3G	3rd Generation	3. generace
3GPP	3rd Generation	Partnerský projekt sítí 3. Generace
AAL2	ATM Adaptation Layer 2	ATM adaptační vrstva 2
ACK	Acknowledged	Potvrzeno
ADC	Administrative Center	Administrativní centrum
AGCH	Access Grant Channel	Kanál povolení přístupu
AM	Acknowledged Mode	Potvrzený mód
AMC	Adaptive Modulation and Coding	Adaptivní modulace a kódování
AP	Access Point	Přístupový bod
ARCFN	Absolute Radio Frequency Channel	Absolutní rádiový frekvenční kanál
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Asynchronní mód přenosu
AuC	Authentication Center	Centrum autentifikace
BCCH	Broadcast Control Channel	Kanál řízení vysílání
BCH	Broadcast Channel	Vysílací kanál
BL	Block	Blok
BLER	Block Error Rate	Chybovost bloků
BMC	Broadcast and Multicast Control	Řízení vysílání a multicastu
BSC	Base Station Controller	Kontrolér základnových stanic
BSIC	Base Station Identity Code	Identifikační kód vysílací stanice
BSS	Base Station System	Systém základnových stanic
BTS	Base Transciever Station	Základnová vysílací stanice
C1	Criteria 1	Kritérium 1
C2	Criteria 2	Kritérium 2
C3	Criteria 32	Kritérium 32
CCCH	Common Control Channel	Společný řídicí kanál

CDMA	Code Division Multiple Access	Přístup kódovým dělením
CEP	Connection End Point	Koncový přípojný bod
CEPI	Connection End Point Identifier	Identifikátor koncového bodu připojení
CI	Cell Identifier	Identifikátor buňky
CLIP	Calling Number Identification Presentation	Identifikace volajícího čísla
CM	Connection Management	Management řízení
CN	Core Network	Jádro sítě
CQI	Channel Quality Identification	Identifikace kvality kanálu
CSD	Circuit Switched Domain	Okruhově spínaná doména
CTCH	Common Traffic Channel	Společný komunikační kanál
DC-HSPA	Dual-Carrier High Speed Packed Access	Dual-Carrier vysokorychlostní paketové spojení
DCCH	Dedicated Control Channel	Vyhrazený řídicí kanál
DCH	Dedicated Channel	Vyhrazený kanál
DLCI	Data Link Connection Identifier	Identifikátor datového spojení
DP	Distribution Procedure	Distribuční procedura
DSCH	Downlink Shared Channel	Vyhrazený sdílený kanál
DTCH	Dedicated Traffic Channel	Vyhrazený komunikační kanál
E-AGCH	Enhanced Absolute Grant Channel	Vylepšený absolutní poskytnutý kanál
Ec	Energy per Chip	Energie na čip
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	Vylepšená přenosová rychlost pro GSM
E-DCH	Enhanced Dedicated Channel	Vylepšený vyhrazený kanál
E-DPCCH	Enhanced Dedicated Physical Control Channel	Vylepšený vyhrazený fyzický řídicí kanál
E-DPDCH	Enhanced Dedicated Physical Data Channel	Vylepšený vyhrazený fyzický datový kanál
E-HICH	Enhanced DCH HARQ Indicator Channel	Vylepšený indikátor kanálu DCH HARQ
EIR	Equipment Identity Register	Registr identit zařízení
E-RGCH	Enhanced Relative Grant Channel	Vylepšený vedlejší přidělený

		kanál
FACCH	Fast Associated Control Channel	Řídicí kanál rychlého přístupu
FACH	Forward Access Channel	Kanál dopředného přístupu
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security	Porucha, konfigurace, účetnictví, výkon, zabezpečení
FCCH	Frequency Correction Channel	Kanál frekvenční korekce
FDD	Frequency Division Duplex	Duplex s kmitočtovým dělením
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network	GSM EDGE rádiová přístupová síť
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Podpůrný uzel brány GPRS
GPS	Global Positioning System	Globální poziční systém
GSM	Global System for Mobile Communication	Globální systém pro mobilní komunikaci
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	Hybridní automatický požadavek
HLR	Home Location Register	Domovský lokační registr
HS	High-Speed	Vysokorychlostní
HSDPA	High-Speed Download Packet Access	Vysokorychlostní sestupné datové spojení
HS-DPCCH	High-Speed Dedicated Physical Control Channel	Vysokorychlostní vyhrazený fyzický řídicí kanál
HS-DSCH	High-Speed Downlink Shared Channel	Vysokorychlostní sestupný sdílený kanál
HSPA	High-Speed Packet Access	Vysokorychlostní datové spojení
HS-SCCH	High-Speed Shared Control Channel	Vysokorychlostní sdílený řídicí kanál
HSUPA	High-Speed Upload Packed Access	Vysokorychlostní vzestupní datové spojení
I	Numbered Information	Číslovaná informace
IA	Immediate Assignment	Okamžité přiřazení
ID	Identifier	Identifikátor
IMEI	International Mobile Equipment Identity	Mezinárodní identita mobilního zařízení
IMEISV	International Mobile Equipment	Mezinárodní identita mobilního

	Identity and Software Version	zařízení a číslo verze softwaru
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP multimediální subsystém
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Mezinárodní identita mobilního účastníka
Io	Total Inband Energy during one Chip	Celková energie v pásmu jednoho čipu
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
IPv4	Internet Protocol Version 4	Internetový protokol verze 4
IPv6	Internet Protocol Version 6	Internetový protokol verze 6
L1	Layer 1	Vrstva 1
L2	Layer 2	Vrstva 2
L3	Layer 3	Vrstva 3
LAC	Location Area Code	Kód umístění oblasti
LAPD	Link Access Procedure D	Odkaz řízení procedury D
LAPDm	Link Access Procedure D mobile	Odkaz řízení procedury D mobile
LLC	Logical Link Control layer	Řídící vrstva logického spojení
LTE	Long Term Evolution	Sítě 4. generace, evoluce 3G sítí
MAC	Medium Access Control layer	Řídící vrstva přístupu k médium
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Několikanásobný vstup a několikanásobný výstup
MM	Mobility Management	Management mobility
MS	Mobile Station	Mobilní stanice
MSC	Mobile Switching Center	Mobilní telefonní ústředny
NACK	Non-Acknowledged	Nepotvrzeno
NAS	Network Access Server	Přístupový server k síti
NCH	Notification Channel	Notifikační kanál
NMC	Networking Management Center	Management centrum sítí
NSAPI	Network Layer Service Access Point Identifier	Identifikátor služby přístupového bodu
NSS	Network Switching Subsystem	Subsystém síťového přepínání
OMC	Operation and Maintenance Center	Operační a údržbové centrum
OSS	Operation Subsystem	Operační subsystém

PCCH	Packed Common Control Channel	Společný řídicí kanál paketů
PCM	Pulse Code Modulation	Pulsně kódová modulace
PDCP	Packed Data Convergence Protocol	Protokol konvergence paketových dat
PDP	Packed Data Protocol	Protokol paketových dat
PDU	Protocol Data Unit	Datová jednotka protokolu
PCH	Paging Channel	Paging kanál.
PPP	Point-to-Point Protocol	Bod-bod protokol
PSD	Packed Switched Domain	Paketově spínaná doména
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadraturově amplitudová modulace
QoS	Quality of Service	Kvalita služby
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying	Čtyřnásobné fázové klíčování
RA	Random Access	Náhodný přístup
RACH	Random Access Channel	Kanál náhodného přístupu
RB	Radio Bearers	Nositelé rádiových zpráv
RLC	Radio Link Control layer	Řídicí vrstva rádiového spojení
RNC	Radio Network Controller	Kontrolér rádiové sítě
RR	Radio Resource Management	Management rádiových zdrojů
RRC	Radio Resource Control	Řízení rádiových zdrojů
RSCP	Received Signal Code Power	Přijímaný výkon
RTP	Real Time Protocol	Real-time protokol
RxLev	Received Level	Přijímaná úroveň signálu
RxQual	Received Quality	Přijímaná kvalita signálu
SABM	Set Asynchronous Balanced Mode	Nastavení asynchronního vyváženého režimu
SACCH	Slow Associated Control Channel	Řídicí kanál pomalého přístupu
SAPI	Service Access Point Identifier	Identifikátor služby přístupového bodu
SB	Synchronization Burst	Synchronizační burst
SBLER	Sub Block Error Rate	Chybovost podbloků
SC	Scrambling Code	Kód oddělující jednotlivá spojení s mobilní stanicí

SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel	Samostatný vyhrazený řídicí kanál
SDU	Service Data Unit	Servisní datová jednotka
SGSN	Serving GPRS Support Node	Obslužný uzel GPRS
SCH	Synchronization Channel	Synchronizační kanál
SMS	Short Message Service	Služba krátkých zpráv
SS7	Signalling System Number 7	Signalizační systém číslo 7
TA	Timing Advance	Dopředné časování
TBF	Temporary Block Flow	Dočasně blokový provoz
TBS	Transport Block Size	Velikost přenosového bloku
TC	Transcoder	Transkodér
TDD	Time Division Duplex	Duplex s časovým dělením
TEID	Tunnel Endpoint Identifier	Identifikátor koncového bodu tunelu
TETRA	Terrestrial Trunked Radio	Zemské svazkové rádiové síť
TCH	Transport Channel	Přenosový kanál
TLV	Type-Length-Value	Typ-délka-hodnota
TM	Transparent Mode	Transparentní mód
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity	Dočasná identifikace mobilního účastníka
TTI	Transmission Time Interval	Časový interval vysílání
UA	Unnumbered Acknowledge	Nečíslované potvrzení
UARFCN	UMTS Absolute Radio Frequency Channel Number	UMTS absolutní číslo frekvence kanálu
UDP	User Datagram Protocol	Uživatelský datagramový protokol
UE	User Equipment	Uživatelské zařízení
UI	Unnumbered Acknowledge	Nečíslované potvrzení
UM	Unacknowledged Mode	Nepotvrzený mód
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Universální mobilní telekomunikační systém
UTRAN	UMTS Terrestrial Access Network	UMTS pozemní přístupová síť
VLR	Visitor Location Register	Lokální registr návštěvníků

WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	Celosvětová interoperabilita pro mikrovlnný přístup
--------------	---	--

Obsah

1	Úvod	1
2	Úvod do 2G a 3G.....	2
	2.1 GSM	2
	2.2 UMTS.....	3
3	Signalizace	5
	3.1 Signalizace v GSM.....	5
	3.1.1 Fyzické, logické, přenosové a signalizační kanály	5
	3.1.2 Protokol LAPDm.....	5
	3.1.3 Protokoly RR, MM a CM.....	6
	3.2 Signalizace v UMTS	7
	3.2.1 Fyzické a logické kanály	7
	3.2.2 Protokol RLC.....	8
	3.2.3 Protokol MAC	9
	3.2.4 Paketově spínaná doména.....	9
	3.2.5 Okruhově spínaná doména	10
	3.3 Signalizace v HSDPA	11
	3.3.1 Fyzická vrstva.....	11
	3.3.2 Protokolová vrstva.....	12
	3.4 Signalizace v HSUPA	12
	3.4.1 Fyzická vrstva.....	12
	3.4.2 Protokolová vrstva.....	12
4	Analýza signalizace.....	13
	4.1 Analýza GSM hovoru.....	13
	4.1.1 Odchozí hovor	13
	4.1.2 Příchozí hovor	15
	4.1.3 Handover	16
	4.1.4 Analýza pomocí nástroje ROMES	17
	4.2 Analýza přenosu dat ve 3G síti.....	18
	4.2.1 Paketové služby	18
	4.2.2 Analýza pomocí nástroje ROMES	19
5	Seznámení s prostředím nástroje R&S ROMES	20

5.1	O programu.....	20
5.2	Možnosti zobrazení	20
5.3	Základní zobrazení (Basic Views).....	20
5.4	Možnosti zobrazení mobilních sítí (Mobile Views)	21
5.4.1	Možnosti zobrazení UMTS	22
5.4.2	Možnosti zobrazení HSDPA	23
5.4.3	Možnosti zobrazení GSM.....	24
6	Analýza GSM.....	25
6.1	Odchozí hovor	25
6.2	Příchozí hovor	30
6.3	Provedení handoveru.....	33
6.4	R&S ROMES náhledy pro GSM.....	36
6.4.1	GSM Cell Set View	36
6.4.2	3GPP Handover Analyzer	37
6.4.3	Alphanumeric View.....	37
6.4.4	Event View	38
6.4.5	2D Chart View.....	39
7	Analýza 3G.....	41
7.1	Navázání paketového spojení	41
7.2	R&S ROMES náhledy pro UMTS/HSPA.....	49
7.2.1	UMTS Cell Set View.....	49
7.2.2	UMTS HSDPA HS Decode Status View	50
7.2.3	UMTS HSDPA Decode Statistic View	50
7.2.4	UMTS HSDPA Performance View	50
8	Zadání pro odborný předmět	52
8.1	Zadání GSM	52
8.1.1	Zadání	52
8.1.2	Postup	52
8.2	Zadání 3G	53
8.2.1	Zadání	53
8.2.2	Postup	53
9	Závěr.....	54
	Použitá literatura	I

1 Úvod

V této bakalářské práci je zpracováno téma „Analýza a optimalizace signálů v mobilních sítích“. V kapitole č. 2 je stručně popsána technologie GSM a UMTS. Ve 3. kapitole je popsána teoretická část signalizace na rozhraní mezi mobilní stanicí a vysílačem v GSM, UMTS, HSDPA a HSUPA. Ve 4. kapitole je dále napsán úvod k analýze zaznamenaných měření. Dále je zde popsán průběh sestavování spojení při odchozím a příchozím hovoru, handoveru a navazování paketového spojení ve 3G. V 5. kapitole jsou popsány základní prvky nástroje R&S ROMES. V 6. kapitole je již popsána analýza zaznamenaného měření v GSM včetně popsání použitých nástrojů z nástroje R&S ROMES. Dále je v 7. kapitole provedena analýza paketového spojení v 3G síti včetně popsání použitých nástrojů z nástroje R&S ROMES. Kapitola č. 8 obsahuje dvě komplexní úlohy pro odborný předmět, ve kterém budou zpracovány studenty. Každá úloha obsahuje zadání a postup s odkazy na použití této bakalářské práce. V 9. kapitole se již nachází závěr se shrnutím zpracovaných výsledků této práce.

2 Úvod do 2G a 3G

2.1 GSM

Jedná se o mobilní technologii druhé generace (2G), tento systém byl vytvořen, aby ve všech zemích Evropy (světa) byl jednotný kompatibilní mobilní systém. Systém měl být také využitelný v budoucnosti. Komerční provoz GSM byl zahájen v polovině roku 1991. Systém GSM se skládá z bloků, každý blok má svou specifickou funkci. Kromě mobilního telefonu účastníka systém obsahuje bloky BSS, NSS a OSS.

Mobilní telefon účastníka (MS)

Jedná se v podstatě o vysílač/přijímač se vstupními/výstupními zařízeními (displej, klávesnice, reproduktor).

BSS

Subsystem základnových stanic, který obsahuje jednotky BTS, BSC a TC.

- **BTS** - Systém, se kterým pomocí rádiového signálu komunikují mobilní stanice, zajišťuje zpracování signalizace, synchronizaci, konfiguraci provozních parametrů.
- **BSC** - Spravuje rádiové prostředky, řídí základnové stanice BTS a transkodéry TC, spravuje hovorové spojení a stará se o řízení handoverů (přepínání účastníku mezi BTS).
- **TC** - Stará se o kódování signálu mezi GSM – PCM.

NSS

NSS plní v systému GSM především spojovací funkce. K přenosu signalizace mezi jednotlivými zařízeními je použita signalizace SS7. Obsahuje jednotky MSC, HLR, VLR, AuC, EIR, SMS centrum.

- **MSC** - Stará se o přepojování a směrování hovorových spojení, řídí handover, komunikuje s HLR a VLR, dohlíží a řídí kontroléry BSC.
- **HLR, VLR** - Jedná se o registry informací o uživateli, HLR je domovský registr obsahující veškeré informace, VLR je návštěvní registr, který obsahuje pouze informace uživatelů připojených k určité BTS.
- **AuC** - Centrum autentičnosti, ověřuje autentičnost účastníků.
- **EIR** - Registr mobilních stanic, jedná se o databázi IMEI čísel a obsahuje tzv. „blacklist“, což je databáze odcizených MS.

OSS

OSS se podílí na managementu mobilních stanic, stanice monitoruje a eviduje poruchy. Dohlíží a konfiguruje síť, provádí kontrolu a údržbu sítě GSM, podílí se na administrativním managementu účastníků GSM, jejich registraci a tarifaci. Obsahuje jednotky OMC, NMC, ADC.

- **OMC** – Provozní a servisní centrum
- **NMC** – Centrum pro řízení sítě

- **ADC** – Administrativní centrum

2.2 UMTS

UMTS vzniklo díky projektu 3GPP, jednalo se o dohodu uzavřenou v prosinci 1998. Cílem této dohody bylo vytvoření 3G sítí. Specifikace 3GPP jsou založeny na rozvinutých GSM specifikacích, obecně známé jako UMTS. UMTS se stále vyvíjí a vycházejí nové verze (tzv. „Release“), které přinášejí nové technologie. První verze UMTS byla uvedena roku 1999 a je označována za UMTS Release 99.

Verze UMTS

- **UMTS Release 99**
 - Technologie se zakládá na architektuře GSM. UMTS je zpětně kompatibilní s GSM sítí
 - Byla definována přístupová síť UTRAN
 - Přístupová metoda UMTS FDD
- **UMTS Release 4**
 - Přístupová metoda UMTS TDD
- **UMTS Release 5**
 - Přepínání paketů založené na IP protokolu (IMS)
 - Technologie HSDPA a GERAN
- **UMTS Release 6**
 - Technologie HSUPA
- **UMTS Release 7**
 - Vylepšení HSDPA a HSUPA (HSPA+)
 - Použití technologie MIMO

Struktura UMTS se skládá z těchto bloků: UE, UTRAN, CN.

UE – Jedná se o mobilní stanici účastníka

UTRAN – V GSM síti odpovídá bloku BSS

CN – V GSM síti odpovídá bloku NSS

Technologie UMTS je založena na principu W-CDMA, širokopásmovém přístupu pomocí signálu s rozprostřeným spektrem. K UMTS lze přistupovat pomocí odlišných metod, metodou FDD, nebo TDD. FDD spočívá v použití dvou frekvencí, jedna pro downlink a druhá pro uplink. Naproti tomu TDD používá jednu frekvenci, na které se po určitém čase střídá downlink s uplinkem.

Dnes

se již používá přístupová metoda FDD. UMTS používá frekvenční spektrum od 1850 MHz do 2025 MHz, případně od 2110 MHz do 2200 MHz.

HSPA / HSPA+

Jedná se o vysokorychlostní mobilní připojení. HSPA se skládá z HSDPA a HSUPA. V případě vylepšené HSPA+ ve verzi R7/R8 dochází k navýšení rychlosti.

HSDPA

Vysokorychlostní připojení ve směru síť – uživatel (downlink). Rychlosti HSDPA ve verzi R5 dosahují 14,4 Mbps, v případě HSDPA+ uvedené ve verzi R7 dnes dosahuje rychlosti až 28 Mbps s použitím technologie MIMO, případně rychlosti 42 Mbps s použitím modulace 64QAM a zdvojnásobení šířky pásma (DC-HSPA+ - až Release 8).

HSUPA

Vysokorychlostní připojení ve směru uživatel – síť (uplink). HSUPA bylo uvedeno až ve verzi R6, kde dosahovalo rychlosti 5,76 Mbps. Vylepšené HSUPA+ dnes dosahuje až 11,5 Mbps.

Více informací o technologii 3G sítí se lze dozvědět v [1] a [2].

3 Signalizace

3.1 Signalizace v GSM

Signalizace probíhá pomocí specifických kanálů a protokolů, které jsou v následujících kapitolách popsány. V případě zájmu o další informace nahlédněte do odborné literatury [3].

3.1.1 Fyzické, logické, přenosové a signalizační kanály

Logické kanály

Na první vrstvě OSI modelu GSM definuje sérii logických kanálů. Tyto logické kanály jsou rozděleny do dvou kategorií: Přenosové kanály a signalizační kanály.

Přenosové kanály

Přenosové kanály se používají pro přenos uživatelských dat (hlas, data). Komunikace přes TCH může probíhat pomocí přepojování okruhů, nebo pomocí přepojování paketů.

Signalizační kanály

Signalizační informace jsou neustále vysílány pomocí rádiového rozhraní, i když není aktivní spojení (hovor, data). Signalizační kanály poskytují nepřetržitý paketově orientovaný signál k MS, aby MS mohla posílat a přijímat zprávy kdykoli, kdy je připojena k BTS. Signalizační kanály se dále dělí na tyto kanály: Broadcast Channel (BCH), Common Control Channel (CCCH), Dedicated Control Channel (DCCH). Ty dále obsahují další kanály:

- **BCH**
 - Broadcast Control Channel (BCCH)
 - Frequency Correction Channel (FCCH)
 - Synchronization Channel (SCH)
- **CCCH**
 - Random Access Channel (RACH)
 - Access Grant Channel (AGCH)
 - Paging Channel (PCH)
 - Notification Channel (NCH)
- **DCCH**
 - Stand-alone Dedicated Control Channel (SDCCH)
 - Slow Associated Control Channel (SACCH)
 - Fast Associated Control Channel (FACCH)

Fyzické kanály

Fyzickými kanály rozumíme rádiové rozhraní, pomocí kterého jsou přenášeny logické kanály.

3.1.2 Protokol LAPDm

Architektura signalizačních protokolů

Komunikace mezi MS a BTS probíhá pomocí rozhraní Um, BTS dále spolupracuje s BSS pomocí rozhraní A-bis. BSS komunikuje s MSC pomocí rozhraní A.

LAPDm

Na druhé vrstvě modelu se již nachází LAPDm, jedná se o protokol datového spojení. LAPDm je odvozen od LAPD a je speciálně uzpůsoben pro komunikaci pomocí rádiového rozhraní. Jeho úkolem je zabezpečení přenosu signalizačních zpráv mezi MS a BTS a transparentní přenos zpráv mezi protokoly třetí vrstvy. Má dva operační módy: nepotvrzená operace (Unacknowledged) a potvrzená operace (Acknowledged).

V Unacknowledged operačním módu jsou data přenášena pomocí UI rámců bez potvrzení. Tento mód je povolený pro všechny signalizační kanály, kromě kanálu RACH.

Acknowledged operační mód poskytuje chráněné datové služby. Data jsou přenášena pomocí I rámců s potvrzením. Tento mód se používá pouze na kanálech DCCH.

V LAPDm jsou koncové body připojení (CEP) L2 propojeny s identifikátory připojení datového spojení (DLCI), které obsahuje dva elementy:

- Service Access Point Identifier (SAPI)
- Connection End Point Identifier (CEPI) – Identifikátor fyzického kanálu, na kterém se nachází L2 připojení.

SAPI může nabývat specifických hodnot, které jsou rezervovány pro určité funkce.

- SAPI = 0 pro signalizaci (CM, MM, RR)
- SAPI = 3 pro SMS

LAPDm jednotka je pevně stanovena pro každý z příslušných fyzických a logických kanálů. Pro některé kombinace kanál/SAPI se potřebuje pouze část protokolu LAPDm, některé další kombinace kanál/SAPI nejsou podporované vůbec. Mezi další procedury druhé vrstvy patří distribuční procedura (Distribution Procedure) a náhodný přístup (Random Access RA).

Distribuční procedura se používá, pokud více jednotek SAP je asociováno s jedním fyzickým/logickým kanálem. Poté distribuuje rámce L2 přijaté jedním kanálem na příslušnou linku datového spojení, nebo podle priority multiplexovaných L2 rámců z více jednotek SAP na jeden kanál.

Procedura náhodného přístupu se používá na kanálu RACH. Procedura v MS stanovuje formát rámců náhodného přístupu a zahajuje jejich přenos. Procedura v síti tyto rámce přijímá a poskytuje odpovídající označení vrstvě L3.

Pro více informací o protokolu LAPDm nahlédněte do odborné literatury [3].

3.1.3 Protokoly RR, MM a CM

Radio Resource management

Radio Resource Management (RR) formuje strategie efektivního přidělování frekvenčních kanálů, jejich řízení a uvolňování. Má na starosti měření kvality signálu, jenž je důležitá především při rozhodování o předávkách mezi frekvenčními kanály (Handover), dále se také podílí na řízení vysílacího výkonu mobilních terminálů.

Mobility Management

Hlavní úlohou Mobility Management (MM) je podpora mobility MS, např. oznamování aktuální pozice sítě, nebo ověřování identity účastníka (IMSI). Dále MM poskytuje připojení podvrstvě CM, která je popsána níže. Všechny procedury MM musejí mít navázané spojení RR, to znamená, že kanál musí mít navázané LAPDm spojení dříve, než začne provádět operace. Tyto operace se provádějí mezi MS a MSC, kdy se zprávy přes BSS pouze přeposílají. MM procedury se dělí do tří kategorií: obecné (common), specifické (specific) a správce spojení MM (MM Connection Management). Obecné procedury mohou být provedeny ihned, když již existuje RR spojení (např. změna TMSI, IMSI detach, autentizace). Specifické procedury např. provádějí lokační updaty, IMSI attach.

Connection Management

Má na starosti navázání, kontrolu a ukončení hovorů. CM je definováno jak na straně MS, tak na straně MSC.

3.2 Signalizace v UMTS

Signalizace v síti UMTS probíhá pomocí specifických kanálů a protokolů, které jsou v následujících kapitolách popsány. V případě zájmu o více informací slouží [4].

3.2.1 Fyzické a logické kanály

Fyzické kanály

UMTS nejčastěji v rádiovém rozhraní používá modulaci QPSK. HSPA poté využívá 16-QAM a HSPA+ používá modulaci 64-QAM.

Logické kanály

Existují dvě třídy logických kanálů, vyhrazené kanály, které jsou přiřazeny jednotlivým UE, a společné kanály, které jsou sdíleny mezi několika UE. Existují kanály pro řídicí informace a kanály pro uživatelská data.

- **Kanály pro řídicí informace:**
 - Broadcast Control Channel (BCCH)
 - Paging Control Channel (PCCH)
 - Common Control Channel (CCCH)
 - Dedicated Control Channel (DCCH)
- **Kanály pro uživatelská data:**
 - Common Traffic Channel (CTCH)
 - Dedicated Traffic Channel (DTCH)
 - Transportní kanály
 - Dedicated Channel (DCH)
 - Broadcast Channel (BCH)
 - Paging Channel (PCH)

- Random Access Channel (RACH)
- Forward Access Channel (FACH)
- Downlink Shared Channel (DSCH)

Architektura sítě

Funkce vykonávané sítí jsou často specifikované v uživatelské úrovni (User Plane), v kontrolní úrovni (Control Plane) a v řídicí úrovni (Management Plane).

- **Uživatelská úroveň**

Uživatelská úroveň se zabývá předáváním a směřováním informací a plní funkce, jako je například korekce chyb a řízení toku. Má na starost služby jako je hlas, fax, video a přístup na internet.

- **Kontrolní úroveň**

Kontrolní úroveň se zabývá krátkodobým síťovým provozem. Zabývá se kontrolou připojení, včetně sestavení hovoru, uvolnění linky a údržbou. V případě paketově orientovaných sítí se stará o správu komunikačních relací. Do kontrolní úrovně patří například zabezpečení, QoS, mobilita mobilní stanice (UE) a tarifikace.

- **Řídicí úroveň**

Řídicí úroveň se zabývá dlouhodobým síťovým provozem. Řídicí funkce jsou nazvány FCAPS: řízení chyb, řízení konfigurace, řízení účtů, řízení výkonu a řízení bezpečnosti.

3.2.2 Protokol RLC

RLC je podvrstvou druhé vrstvy L2 (Spojová vrstva). Poskytuje služby vrstvě RRC v řídicí úrovni a aplikační vrstvě v uživatelské úrovni. Podporuje tři režimy přenosu dat:

- **Transparentní mód (TM)**
- **Unacknowledged mód (UM)**
- **Acknowledged mód (AM)**

Každý mód vykonává některé z těchto funkcí, které spadají pod RLC:

- přenos uživatelských dat a signalizace
- segmentace PDU do RLC rámců a jejich opětovné poskládání
- spojení RLC SDU a RLC PDU (Concatenation)
- doplnění chybějících bitů RLC PDU (Padding)
- korekce chyb
- zachování pořadí přijatých PDU (In-sequence delivery)
- detekce příjmu duplikátních dat
- řízení provozu (Flow Control)
- kontrola číselné sekvence
- detekce a oprava chyb protokolu
- šifrování
- vyřazení poškozených SDU (SDU Discard)

Architektura RLC

Hlavní funkcí RLC je přenos uživatelských dat a signalizace mezi vyššími vrstvami a vrstvou MAC. Data jsou do RLC přenášena v datovém bloku zvaném Service Data Unit (SDU). Ven z RLC jsou data přenášena v datovém bloku Protocol Data Unit (PDU). Data proudící do vyšších vrstev nebo z nich, se nazývají Radio Bearers (RB – tzv. nositelé zpráv). Mohou nést signalizační a uživatelská data. Pro komunikaci s MAC jsou použity logické kanály. Každá jednotka pracuje v jednom ze tří přenosových módů: TM, UM nebo AM.

Když RRC namapuje RB na logický kanál, alokuje jednotku RLC a nastaví přenosový mód jako TM, UM nebo AM. V případě TM a UM jsou použity pro přenos dvě oddělené linky, kdežto u AM je použita jedna sdílená linka, na které probíhá obousměrný provoz.

3.2.3 Protokol MAC

MAC je podvrstvou L2. Poskytuje služby RLC pro přenos dat mezi logickými a přenosovými kanály. Má na starosti mapování logických kanálů na přenosové kanály a volí přenosový formát, ve kterém budou data přenášena.

Funkce MAC:

- mapování logických a přenosových kanálů
- identifikace UE na společných kanálech
- udělování priority logických kanálů
- multiplexování/demultiplexování logických kanálů
- volba formátu přenášené informace
- měření provozu
- šifrování
- procedury RACH

Architektura MAC

Hlavním úkolem MAC vrstvy je mapování logických kanálů na přenosové kanály a přenos dat mezi logickými a přenosovými kanály.

MAC obsahuje tři části:

- MAC-b – řídí přístup k BCH
- MAC-d – řídí přístup k DCH
- MAC-c/sh – řídí přístup k PCH, FACH a RACH

3.2.4 Paketově spínaná doména

Doména nevyhrazuje přenosový kanál pro uživatele nastálo, ale pouze v okamžiku, kdy jej bezprostředně potřebuje pro přenos dat. Díky této technologii může síť UMTS poskytnout vyšší přenosové rychlosti. Paketově spínaná doména je vhodná pro přenos služeb, u nichž nejsou nároky na vypořádání služby v reálném čase. Zahrnuje v jádru sítě SGSN a GGSN. Přepínání paketů se tedy využívá zejména pro datové služby (email, web).

PSD obsahuje tzv. uživatelské rozhraní a kontrolní rozhraní, které jsou od sebe částečně odlišné, výše jsou popsány společné nižší vrstvy (L1,MAC,RLC).

Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

Zajišťuje kompresi hlaviček, mapování provozu do příslušných protokolů rádiového rozhraní a v případě potřeby zajišťuje zachování pořadí přenášených datových jednotek. Propouští protokoly vyšších vrstev, jako jsou IPv4, PPP, IPv6.

Síťová vrstva komunikuje s blokem GGSN, při průchodu tímto blokem musí v případě potřeby projít jednotkou NAS a firewallem. Na nejvyšší vrstvě se nachází aplikační vrstva.

V PSD unicastová data vyslaná uživatelem dorazí na UTRAN (RNC) ve formě IP paketů. Multicastová data a vysílací data jsou zapouzdřena pomocí BMC protokolu.

Radio Resource Control (RRC)

Řídí všeobecný přístup k vrstvám, má na starosti jejich konfiguraci. Obstarává řízení a signalizaci rozhraní k vrstvě NAS.

RRC obstarává:

- řízení přístupu k vrstvám
- zpracovávání systémových informací
- notifikace
- správa RRC připojení
- směrování vrstvy NAS
- řízení šifrování
- řízení měření a podávání hlášení
- správa RB
- řízení výkonu

Po přihlášení UE k síti si stanice nejprve vytvoří spojení RRC. RRC vytváří spojení mezi UE a RNC, které existuje po celou dobu přenosu dat mezi těmito jednotkami. RRC spravuje všechna spojení a přenáší řídicí informace mezi UE a RNC. RRC je také využíváno RNC k vysílání informací, jako je například identifikátor sítě a informace o pozici. Více se lze dozvědět v [5].

3.2.5 Okruhově spínaná doména

Doména používá pro uživatele vyhrazený nepřerušovaný přenosový kanál, jímž proudí uživatelská komunikace se službou. Celá přenosová trasa je tedy po celou dobu komunikace vyhrazena jen pro jednoho uživatele a v celé své kapacitě. Přepínání okruhů se používá zejména pro telefonní hovory, kdy je kanál vyhrazen pro jednoho uživatele, a je opět uvolněn až po konci hovoru.

V uživatelské úrovni mohou být použity dva způsoby přenosu dat, buďto pomocí IP protokolu, nebo pomocí ATM. V případě IP protokolu se data (Payload) zasílají pomocí Real Time Protokolu (RTP) a pomocí UDP. V případě použití ATM podporuje real-time přenos vrstva AAL2.

V CSD probíhá komunikace mezi UE a MSC pomocí MM/CC. Kontrolní úroveň z CSD má společné prvky jako kontrolní úroveň v PSD (RRC).

3.3 Signalizace v HSDPA

Technologie HSDPA představuje zdokonalení stávající sítě UMTS. Změny jsou provedeny na programové úrovni, tyto změny ovšem vyžadují jiné nároky na stávající hardware. Ke změně hardware dochází u Node B, RNC a UE.

3.3.1 Fyzická vrstva

Implementace HSDPA přináší 3 nové kanály.

- **HS-DSCH**

Přenáší uživatelská data ve směru od sítě k účastníkovi. Tento transportní kanál umožňuje více uživatelům dynamicky sdílet vzdušné rozhraní. Je zde použit pevný časový interval $TTI = 2$ ms a pevný rozprostírací faktor = 16, který umožňuje využívat 15 paralelních kódů pro uživatelský provoz a signalizaci.

- **HS-SCCH**

Signalizační kanál v sestupném směru. Má na starosti řízení přenosu HSDPA. Přenáší informace o použité modulaci, přeposílání a další řídicí informace.

- **HS-DPCCH**

Signalizační kanál ve vzestupném směru. Přenáší potřebné řídicí informace. Těmi jsou indikátor kvality kanálu CQI a zprávy potvrzení mechanismu HARQ.

Zpětná informace o kvalitě kanálu (CQI)

Na kanálu HS-DPCCH přijímá Node B CQI každého aktivního uživatele a plánuje z těchto dat přidělení přenosového kanálu HS-DSCH. CQI obsahuje velikost transportního bloku HS-DSCH, počet kódů a modulaci, s níž můžou být data přijímána při $TTI = 2$ ms.

Rychlé plánování

Plánování probíhá v Node B. HSDPA využívá zpětnou informaci od UE o kvalitě kanálu CQI a o schopnostech terminálu (kategorie HSDPA použita v UE). Dále využívá informace o požadavcích na kvalitu služby a dostupných rádiových zdrojích, aby Node B poté mohlo dle $TTI = 2$ ms rozhodnout o tom, jakou modulaci a kódování použít.

Adaptivní modulace a kódování (AMC)

Díky schopnosti rychlého plánování je AMC schopno dynamicky měnit modulační a kódovací schémata podle kvality rádiové linky. Tímto způsobem je uživateli poskytnuta maximální možná přenosová rychlost, kterou UE podporuje.

HARQ

Umožňuje UE zaslání žádosti a opakování přenosu dat v případě, že jsou data poškozena, ztracena apod. Při posílání dat z Node B k UE zasílá UE zpět zprávu o přijetí, v případě, že zpráva dorazila v pořádku, zasílá zprávu ACK, v opačném případě zasílá NACK.

3.3.2 Protokolová vrstva

Změnou oproti UMTS je změna vrstvy MAC, která se v HSDPA nazývá MAC-hs.

MAC-hs

Zajišťuje funkce HARQ, skládání, rozebrání a přeskupení datových jednotek a řízení přístupu k transportnímu kanálu HS-DSCH. Dále zajišťuje funkce plánování a řízení priority. MAC-hs je umístěno na straně UE a Node B.

3.4 Signalizace v HSUPA

HSUPA je v HSPA použito od vydání UMTS Release 6. Úkolem HSUPA je odesílání dat od uživatele k síti. Technologie HSUPA poskytuje nový transportní kanál E-DCH.

3.4.1 Fyzická vrstva

- **E-DCH**
Podporuje rychlé plánování, HARQ, TTI = 2ms. Oproti HSDPA se jedná o vyhrazený kanál. Každé UE vlastní svůj kanál E-DCH k Node B.
- **E-AGCH**
Určuje, jakou rychlostí, a v jaké chvíli může UE vysílat. Plánuje spojení a používá se tehdy, kdy je potřeba velké změny přenosové rychlosti.
- **E-RGCH**
Plní stejnou funkci jako kanál E-AGCH, plánuje spojení. Používá se pouze pro mírné změny přenosové rychlosti u probíhajícího spojení.
- **E-HICH**
Pomocí E-HICH probíhá zasílání potvrzování HARQ (ACK/NACK), jedná se o vyhrazený kanál pro daného uživatele.
- **E-DPDCH**
Mapuje se na fyzické datové kanály, počet těchto kanálů a jejich činitel rozprostírání se mění v závislosti na momentální přenosové rychlosti.
- **E-DPCCH**
Je určen k vysílání řídicích informací přiřazených k E-DCH.

3.4.2 Protokolová vrstva

V protokolové vrstvě dochází ke změně MAC vrstvy. Nové MAC entity (MAC-es/MAC-e) jsou přidány v UE pod MAC-d. U Node B je přidána MAC entita (MAC-e).

- **MAC-es/MAC-e (UE)**
Řídí retransmisi HARQ, plánování a multiplexování MAC-e.
- **MAC-e (Node B)**
Řídí retransmisi HARQ, plánování a demultiplexování MAC-e.

4 Analýza signalizace

4.1 Analýza GSM hovoru

V analýze GSM se budeme soustředit na analýzu odchozího a příchozího hovoru, popis signalizace při sestavování hovoru a při provádění handoveru. V analyzovaném záznamu jsou zaznamenány odchozí a příchozí hovory.

MS může být v jednom z následujících stavů:

- **Detached:** MS je vypnuto
- **Attached:** MS je zapnuto

Ve stavu attached může nabývat dalších stavů:

- **Idle:** MS nemá vyhrazený kanál a poslouchá kanály BCCH a PCH
- **Active/Dedicated:** MS má vyhrazený kanál do sítě

Přechody mezi stavy nastávají v případě zjištění pozice, sestavení hovoru, SMS apod.

4.1.1 Odchozí hovor

Sestavení hovoru (Odchozí hovor z MS)

Budeme-li chtít volat z naší MS na jinou MS, dojde k signalizaci mezi MS a BTS. Jsou zaslány údaje o MS, žádosti o kanál apod. Průběh předávání zpráv je zobrazen na obrázku 4.1.

Channel Request

Nejprve je potřeba navázat RR spojení, toto se plní zasláním žádosti „Channel Request“ k BTS (BSS). Žádost se posílá pomocí kanálu RACH, po zaslání žádosti MS poslouchá kanál AGCH, pomocí kterého bude navázáno spojení.

Immediate Assignment

BSS poté alokuje kanál TCH k MS, TCH specifikuje frekvenci a timeslot na této frekvenci. Pomocí těchto údajů bude MS komunikovat s mobilní sítí. Tyto údaje jsou zaslány pomocí „Immediate Assignment“. Po přijmutí informací je MS aplikuje a naladí požadovanou frekvenci a timeslot).

Service Request

MS po sestavení spojení zašle žádost „Service Request“ a komunikuje pomocí protokolu LAPDm, kdy BSC zašle zprávu SABM (Set Asynchronous Balanced Mode). V žádosti je stanoveno TCH, SAPI = 0 (hovor).

Authentication

Poté MSC zjišťuje, zda je uživatel ověřen, v případě, že je, se tento krok přeskočí. V případě že není ověřen, dojde k tomu pomocí zprávy „Authentication Request“, MS poté odpovídá a odesílá požadované údaje (TMSI, IMSI,...) pomocí zprávy „Authentication Response“.

Ciphering

Když je uživatel již autorizován, dojde k zavedení šifrování spojení (Ciphering). Šifrování zabezpečuje přenos proti odposlouchávání. MS přijme zprávu „Ciphering Command“, ta značí, že MS již může komunikovat šifrovaně. MS zasílá zpět k BSS zprávu „Ciphering Complete“. Tímto krokem je spojení RR již navázáno.

Setup

MS zasílá zprávu „Setup“ s informacemi pro navázání hovoru a dostává odpověď „Call proceeding / Call confirm“, která MS informuje, že dochází k sestavování hovoru.

Assignment

MSC informuje BSS, že spojení je přepnuto ze signalizace na hovor (hlas). MS poté změní nastavení kanálu, žádost je přivedena zprávou „Assignment Command“, po změně nastavení MS odesílá zprávu „Assignment Complete“.

Alerting

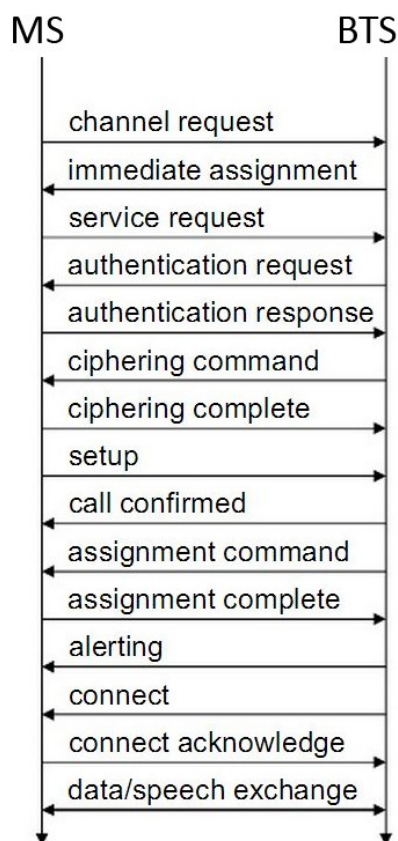
MS je informována zprávou „Alerting“, že volané číslo je upozorňováno zvoněním.

Connect

V případě, že protější strana hovor přijme, první MS obdrží zprávu „Connect“, a odpoví zprávou „Connect Acknowledge“. V tuto chvíli MS již ukazuje probíhající hovor, který lze kdykoliv ukončit.

Release

V případě, že volaná MS hovor nepřijme nebo hovor ukončíme, dochází k zaslání zprávy „Disconnect“, která nese požadavek o ukončení hovoru. MSC poté zasílá k MS zprávu „Release“ s požadavkem, aby se MS odpojilo. MS odpovídá zprávou „Release Complete“. MSC poté zasílá zprávu „Channel Release“. MS odpovídá zprávou „Disconnect“ a vrací se do stavu Idle.



Obrázek 4 .1: Postup sestavení odchozího hovoru

4.1.2 Příchozí hovor

V případě, že na naši MS chce někdo volat, probíhá signalizace následovně. Průběh signalizace je zobrazen na obrázku č. 4.2.

Page Request

MS nejprve obdrží zprávu „Page Request“ na kanálu PCH. MS pozná, že je zpráva určená pro něj podle TMSI nebo IMSI.

Channel Request

MS odešle zprávu „Channel Request“. BSS odpoví zprávou „Immediate Assignment“, která k MS přiřadí SDCCH. MS posílá zprávu „Paging Response“, která signalizuje, že MS odpovídá na příchozí zprávu.

Authentication

Dochází k ověření uživatele pomocí „Authentication Request/Response“.

Ciphering

Dochází k šifrovanému spojení (Ciphering).

Setup

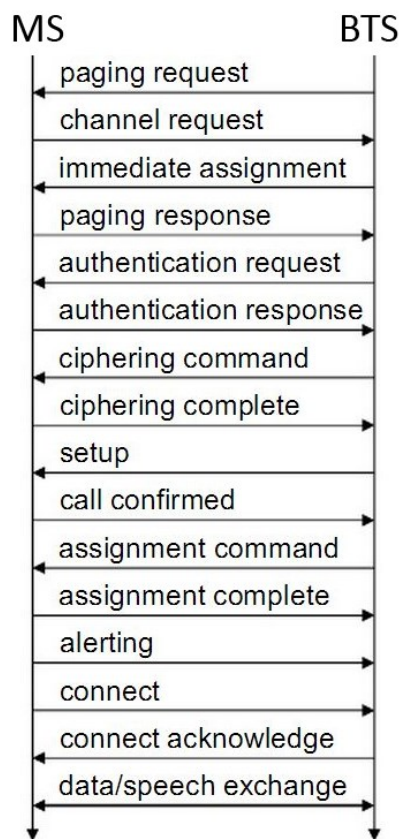
K MS je přeposlána zpráva „Setup“. Zpráva obsahuje CLIP, které je ID MS, která nám volá. MS odpovídá zprávou „Call Confirmed“, která nese zprávu o tom, že je MS připravena navázat požadované spojení.

Assignment

BSS posílá k MS zprávu „Assignment Command“ s přiřazeným kanálem TCH. MS přepíná komunikaci na daný kanál a odpovídá zprávou „Assignment Complete“. MS zasílá zprávu „Alert“ s informací, že již probíhá vyzvánění.

Connect

Při přijmutí příchozího hovoru MS zasílá zprávu „Connect“, která je potvrzena zprávou „Connect Acknowledge“. V tuto chvíli je spojení již navázáno.



Obrázek 4.2: Postup sestavení příchozího hovoru

4.1.3 Handover

MS k BTS neustále zasílá zprávu „Measurement Report“, ve které hlásí aktuální úroveň signálu. Když je úroveň signálu nízká, je k MS vyslána zpráva „Handover command“. MS odpoví zprávou „Handover Accept“. MS nato obdrží zprávu „Physical Information“, která obsahuje informace o časové a frekvenční korekci. MS potvrzuje dokončení handoveru zprávou „Handover Complete“.

4.1.4 Analýza pomocí nástroje ROMES

Signalizační zprávy budou rozebrány v analýze signalizace GSM pomocí programu ROMES. V analýze bude dále analyzován handover. Na obrázku č. 4.3 je zobrazen náhled na signalizační zprávy v nástroji R&S ROMES. Zvýrazněný řádek znázorňuje počátek signalizace při odchozím hovoru. Na obrázku 4.4 je zobrazen náhled handoveru, na kterém jsou zobrazeny všechny provedené handovery v analyzovaném záznamu.

00:05:08	UI	SYSTEM INFORMATION TYPE 3 (Down)	
00:05:08	RR	PAGING REQUEST TYPE 1 (Down)	
00:05:08	I	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:08	-		CHANNEL REQUEST (Up)
00:05:08	I	SYSTEM INFORMATION TYPE 4 (Down)	
00:05:08	SABM	IMMEDIATE ASSIGNMENT (Down)	
00:05:08	I		CLASSMARK CHANGE (Up)
00:05:08	I		UTRAN CLASSMARK CHANGE (Up)
00:05:08	DM	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (Down)	
00:05:08	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:09	RNR	CYPHERING MODE COMMAND (Down)	
00:05:09	I		CYPHERING MODE COMPLETE (Up)
00:05:09	RNR		SETUP (Up)
00:05:09	I	SYSTEM INFORMATION TYPE 5ter (Down)	
00:05:09	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:09	I	SYSTEM INFORMATION TYPE 6 (Down)	
00:05:09	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:09	I	IDENTITY REQUEST (Down)	
00:05:09	REJ		IDENTITY RESPONSE (Up)
00:05:10	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:10	I	CALL PROCEEDING (Down)	
00:05:10	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:10	I	FACILITY MESSAGE (Down)	
00:05:11	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:11	I	ASSIGNMENT COMMAND (Down)	
00:05:11	REJ		ASSIGNMENT COMPLETE (Up)
00:05:11	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:12	UI	PROGRESS (Down)	
00:05:12	DM	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (Down)	
00:05:12	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:12	RR	ALERTING (Down)	
00:05:12	I	SYSTEM INFORMATION TYPE 5ter (Down)	
00:05:12	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:12	RNR		DISCONNECT (Up)
00:05:13	DM	RELEASE (Down)	
00:05:13	I		RELEASE COMPLETE (Up)
00:05:13	I	SYSTEM INFORMATION TYPE 6 (Down)	
00:05:13	RNR		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:13	DM	CHANNEL RELEASE (Down)	

Obrázek 4.3: Signalizační zprávy navazování odchozího hovoru v nástroji ROMES

Handover	Time	Event	Result	Add	Remove
1. 2G->2G CS	00:05:29	2G->2G HO	Complete	BCCH: 84, BSIC: 14	BCCH: 546, BSIC: 50, Cl...
1. HANDOVER COMMA...	00:05:29				
2. HANDOVER COMPLE...	00:05:30				

Obrázek 4.4: Znáznornění handoveru v nástroji ROMES

4.2 Analýza přenosu dat ve 3G síti

V analýze přenosu dat pomocí 3G sítě bude analyzována komunikace UMTS/HSDPA.

4.2.1 Paketové služby

Paketové služby (PSD) slouží zejména pro datové přenosy, lze přes ně ovšem i telefonovat (VoIP). Níže je sepsán postup signalizace při připojování k síti, šifrování a aktivace PDP připojení v analyzovaném záznamu.

Sestavení datového spojení a aktivace PDP kontextu

Aktivace PDP umožňuje připojení UE k síti v režimu přenosu dat, toto připojení se aktivuje žádostí postupným předáváním signalizačních zpráv, jako finální je zaslání zprávy „Activate PDP Context Request“. PDP context je datová struktura, která obsahuje informace o spojení účastníka při aktivním spojení. Obsahuje například účastníkovu IP adresu, IMSI, TEID. Signalizační zprávy probíhají následovně.

Sestavení spojení RRC

Nejprve proběhne připojení UE k síti zprávou „RRC Connection Request“, která obsahuje informace o identitě UE. UE obdrží zprávu „RRC Connection Setup“. Zpráva je poslána sítí k přijetí spojení RRC s UE a přiřazuje ke spojení signalizační a transportní kanál. UE odpovídá zprávou „RRC Connection Setup Complete“, kterou potvrzuje navázání spojení s RRC.

První zprávou přenesenou po navázání spojení je zpráva „Initial Direct Transfer (Service Request)“. Tato zpráva umožňuje transparentní zasílání zpráv mezi UE a SGSN.

Autentifikace účastníka a zavedení šifrování

UE obdrží zprávu „Authentication and Ciphering Request“ s požadavkem šifrování a ověření identity. Dále je UE zaslána zpráva „Security Mode Command“, která informuje UE, aby začalo provádět šifrování. UE na tuto zprávu odpovídá zprávou „Security Mode Complete“, která nese informaci o tom, že již probíhá šifrované spojení.

UE obdrží zprávu „Downlink Direct Transfer (Service Accept)“, která informuje UE, že má přístup do sítě.

Aktivace PDP kontextu

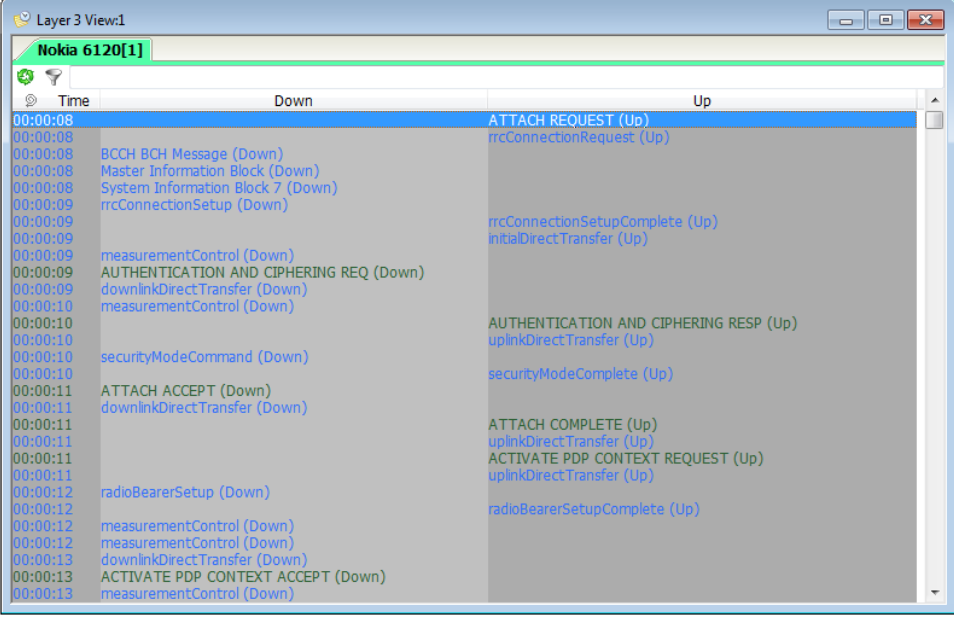
UE zasílá zprávu „Activate PDP Context Request“ obsahující požadavek UE pro aktivování paketového spojení. UE obdrží zprávu „Radio Bearer Setup“ k vytvoření nových rádiových kanálů. UE zašle zprávu „Radio Bearer Complete“ s potvrzením vytvoření kanálů. UE obdrží zprávu „Activate PDP Context Accept“.

V tomto stavu je již navázáno šifrované paketové spojení a lze zahájit komunikaci. V průběhu komunikace může dojít k požadavku zaslanému UE pro změnu konfigurace rádiových kanálů.

V průběhu komunikace také může dojít k požadavku „Routing Area Update Request“. Tato zpráva se zasílá v případě, že účastník přešel do jiné buňky, a tím došlo k handoveru.

4.2.2 Analýza pomocí nástroje ROMES

Signalizační zprávy budou rozebrány a analyzovány v analýze 3G datového přenosu. Na obrázku č. 4.5 jsou zobrazeny signalizační zprávy. Zvýrazněný řádek označuje začátek navazování paketového spojení. Při analýze budou použity také další náhledy, které budou detailně popsány při samotné analýze.



Time	Down	Up
00:00:08		ATTACH REQUEST (Up)
00:00:08		rrcConnectionRequest (Up)
00:00:08	BCCH BCH Message (Down)	
00:00:08	Master Information Block (Down)	
00:00:08	System Information Block 7 (Down)	
00:00:09	rrcConnectionSetup (Down)	
00:00:09		rrcConnectionSetupComplete (Up)
00:00:09	measurementControl (Down)	initialDirectTransfer (Up)
00:00:09	AUTHENTICATION AND CIPHERING REQ (Down)	
00:00:09	downlinkDirectTransfer (Down)	
00:00:10	measurementControl (Down)	
00:00:10		AUTHENTICATION AND CIPHERING RESP (Up)
00:00:10	securityModeCommand (Down)	uplinkDirectTransfer (Up)
00:00:10		securityModeComplete (Up)
00:00:11	ATTACH ACCEPT (Down)	
00:00:11	downlinkDirectTransfer (Down)	
00:00:11		ATTACH COMPLETE (Up)
00:00:11		uplinkDirectTransfer (Up)
00:00:11		ACTIVATE PDP CONTEXT REQUEST (Up)
00:00:11		uplinkDirectTransfer (Up)
00:00:12	radioBearerSetup (Down)	
00:00:12		radioBearerSetupComplete (Up)
00:00:12	measurementControl (Down)	
00:00:12	measurementControl (Down)	
00:00:13	downlinkDirectTransfer (Down)	
00:00:13	ACTIVATE PDP CONTEXT ACCEPT (Down)	
00:00:13	measurementControl (Down)	

Obrázek 4 .5: Signalizační zprávy navazování 3G spojení v nástroji ROMES

5 Seznámení s prostředím nástroje R&S ROMES

5.1 O programu

Program R&S ROMES4 je univerzální softwarová platforma od společnosti Rohde & Schwarz pro optimalizaci síťových systémů. V kombinaci s dalšími přídatnými prvky je program schopen měřit bezdrátovou komunikaci. V současné době program podporuje: GSM/EDGE, UMTS, WCDMA/HSPA+, CDMA2000 1xEV-DO Rev. A, WiMAX (IEEE802.16e), LTE a TETRA.

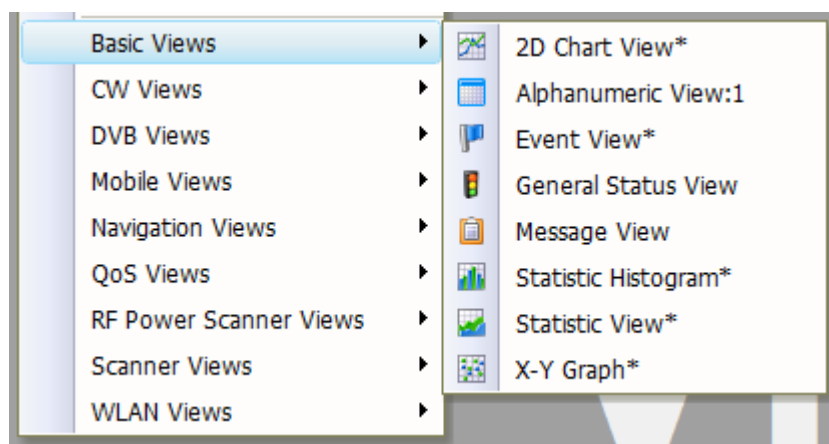
V této práci je použit program R&S ROMES4, který je schopen pouze přehrát již naměřené záznamy.

5.2 Možnosti zobrazení

Zde uvedená zobrazení jsou pouze přehledová, detailně jsou popsána pouze zobrazení použitá u analýzy signálů. Pro úplné informace a manuál programu k R&S ROMES slouží manuál přiložený u programu [6], který obsahuje veškeré podrobné informace. Veškeré náhledy lze v programu R&S ROMES zobrazit pod položkou „View“ v navigačním panelu.

5.3 Základní zobrazení (Basic Views)

Základní náhledy jsou určeny pro veškeré podporované technologie nástrojem R&S ROMES. Náhledy jsou zobrazeny na obrázku č. 5.1.



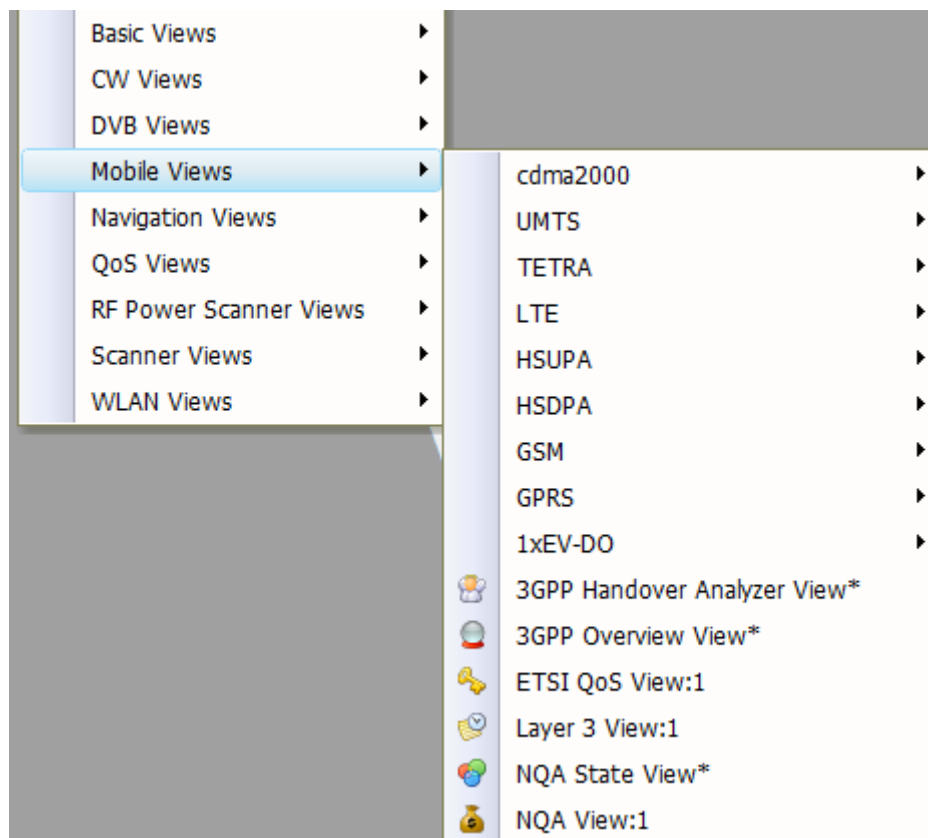
Obrázek 5.1: Náhled nabídky „Basic Views“

- **2D Chart View** - Zobrazení aktuálních naměřených dat v grafu.
- **Alphanumeric View** - Náhled nabízí možnosti zobrazení zvolených parametrů mobilní stanice.
- **Event View** - Seznam všech událostí, ke kterým dochází během měření. V tomto náhledu lze nechat znázornit vybrané události.
- **General Status View** - Seznam parametrů a informací o zařízení.
- **Message View** - Detailní, chronologicky uspořádaný seznam systémových zpráv vygenerovaných během měření.
- **Statistic Histogram** - Kolekce několika diagramů, které zobrazují statistické vyhodnocení signálu.

- **Statistic View** - Zobrazení nejběžnějších statistických klíčových údajů jakéhokoliv signálu.
- **X-Y Graph** - Graf, ve kterém lze nastavit dva signály ve vzájemné korelaci. To znamená, jeden signál je použit jako hodnota X a druhý signál je použit jako hodnota Y.

5.4 Možnosti zobrazení mobilních sítí (Mobile Views)

Mobile Views je rozděleno do několika skupin, z obrázku č. 5.2 vidíme rozdělení podle použitého typu sítě.

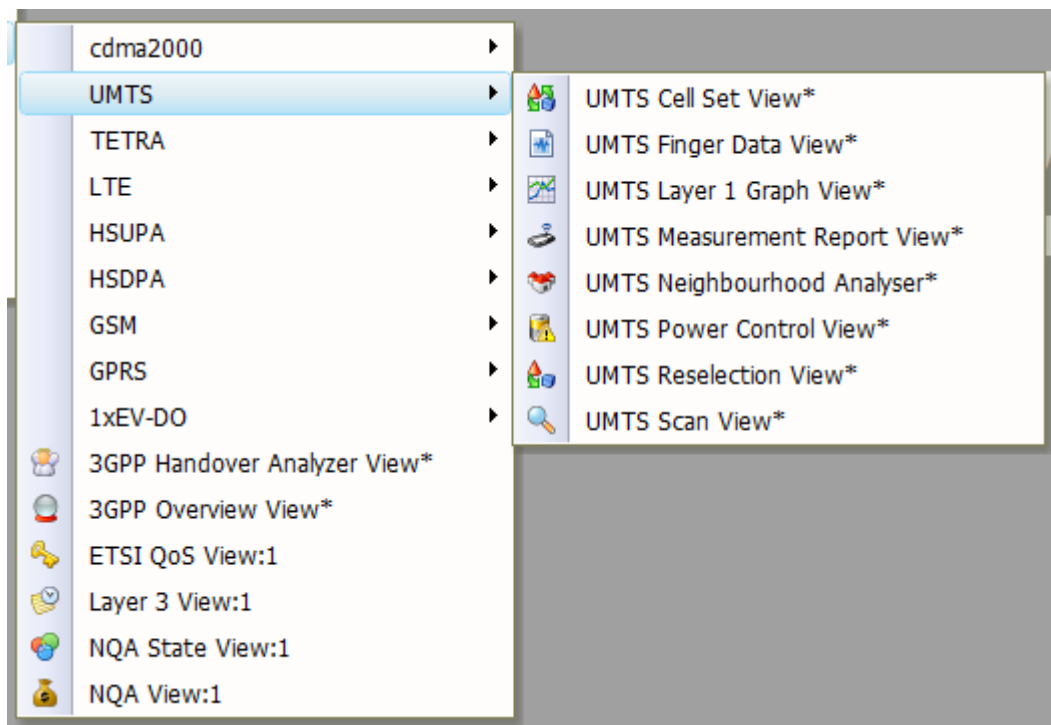


Obrázek 5.2: Náhled nabídky „Mobile Views“

- **3GPP Handover Analyzer View** - Kompletní seznam provedených handoverů v UMTS nebo v GSM síti.
- **3GPP Overview View** - Shrnutí stavů mobilní stanice, výkon/kvalita, aktivní sady a systémové parametry. Pokud je to možné, zobrazuje také výsledky z připojeného UMTS PN skeneru.
- **ETSI QoS View** - NQA klasifikace pro každý UMTS/GSM hovor a parametry QoS definované ve specifikacích IREG.
- **Layer 3 View** - Obsahuje GSM zprávy třetí vrstvy, GPRS RLC/MAC řídicí zprávy a UMTS RRC zprávy.
- **NQA State View** - Detailní analýza NQA stavů a jednotlivé přechody stavů během každého hovoru.
- **NQA View** - Obsahuje statistiky hovorů mobilních stanic v sítích GSM/UMTS.

5.4.1 Možnosti zobrazení UMTS

Submenu UMTS obsahuje náhledy zobrazené na obrázku č. 5.3.

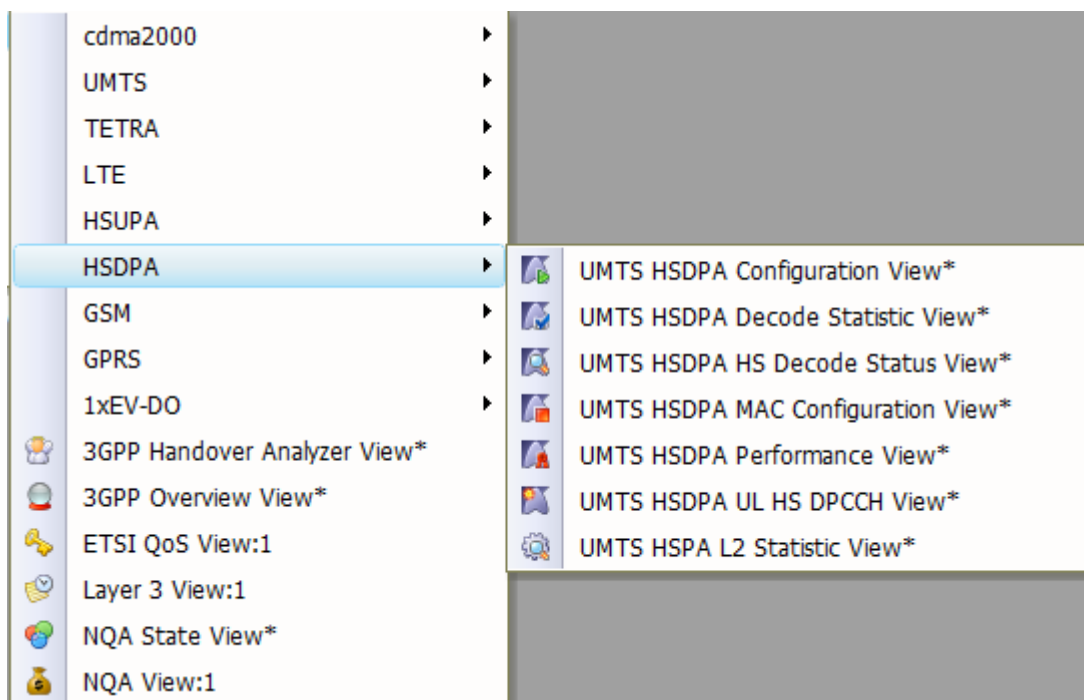


Obrázek 5.3: Náhled nabídky „UMTS“

- **UMTS Cell Set View** - Parametry první vrstvy buňky, ke které je mobilní stanice připojena a parametry sousedů.
- **UMTS Finger Data View** - Parametry první vrstvy charakterizující rozdílný downlink WCDMA signál přijatý mobilní stanicí, zachycený s rozdílnými „fingers“ z UMTS RAKE přijímače.
- **UMTS Layer 1 Graph** - Zobrazení parametrů první vrstvy ve 2D grafu.
- **UMTS Measurement Report View** - Výsledky vnitřního frekvenčního měření, které mobilní stanice zasílá sítí zprávou „Measurement Report“.
- **UMTS Neighbourhood Analyser View** - Výsledky analýzy sousedů pomocí R&S ROMES4HOA.
- **UMTS Power Control View** - Výstupní výkon vysílače a řídicí parametry uzavřené smyčky Nokia UMTS mobilních telefonů.
- **UMTS Reselection View** - Zobrazení parametrů, které jsou použity pro reSelekcí buňky.
- **UMTS Scan View** - Zobrazení síly signálu kanálu ve 2D grafu.

5.4.2 Možnosti zobrazení HSDPA

Submenu HSDPA obsahuje náhledy zobrazené na obrázku č. 5.4.

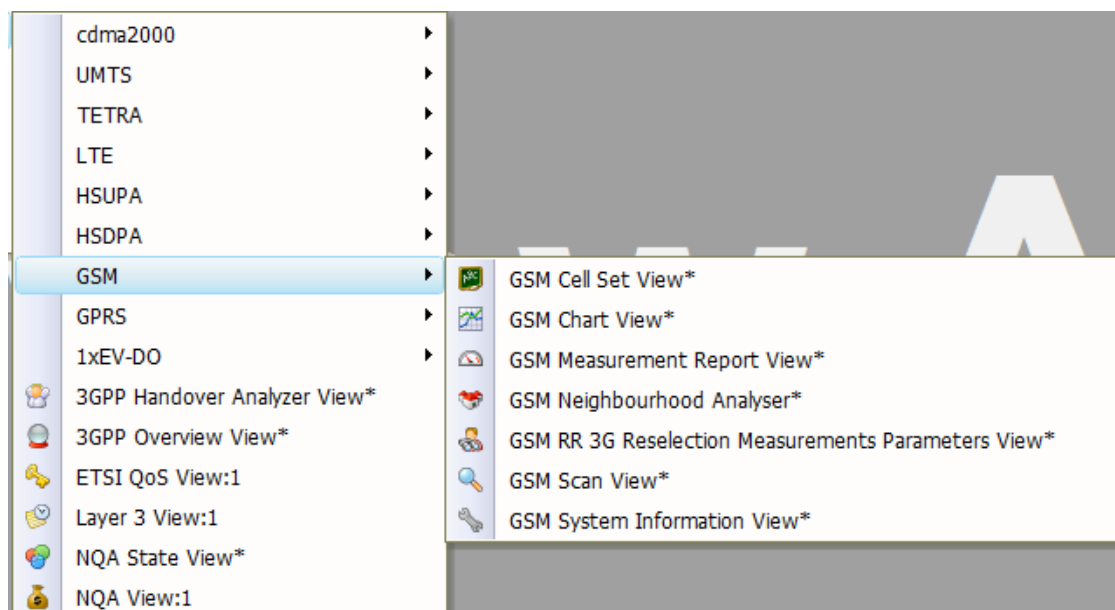


Obrázek 5.4: Náhled nabídky „HSDPA“

- **UMTS HSDPA Configuration View** - Konfigurace DL HSDPA kanálů přijatých mobilní stanicí, zobrazení aktivních HARQ procesů.
- **UMTS HSDPA Decode Statistic View** - Statistika přijatých bloků pomocí DL HS-DSCH, zobrazení úspěšně a neúspěšně přijatých bloků.
- **UMTS HSDPA HS Decode Status View** - Stav demodulace HS-SCCH a dekódování HS-SCCH informace.
- **UMTS HSDPA MAC Configuration View** - Zobrazení konfigurace protokolové vrstvy MAC-hs, kterou mobilní stanice přijímá od sítě.
- **UMTS HSDPA Performance View** - Parametry průběhu přenosu, ve kterých lze nalézt požadovanou a dosaženou propustnost dat (rychlost, modulace).
- **UMTS HSDPA UL HS-DPCCH View** - CQI hodnoty reportované mobilní stanicí v posledních 100 HSDPA sub-rámcích.
- **UMTS HSDPA L2 Statistic View** - Zobrazení informací o použité velikosti PDU.

5.4.3 Možnosti zobrazení GSM

Submenu GSM obsahuje náhledy zobrazené na obrázku č. 5.5.



Obrázek 5.5: Náhled nabídky „GSM“

- **GSM Cell Set View** - Zobrazuje aktuální konfiguraci MS, zobrazuje, k jaké BTS je momentálně připojena.
- **GSM Chart View** - Zobrazení parametrů první vrstvy ve 2D grafu.
- **GSM Measurement Report View** - Zobrazení přehledu měření provedených mobilní stanicí.
- **GSM Neighbourhood Analyser View** - Tento náhled zobrazuje výsledky analýzy sousedních vysílačů z možnosti R&S ROMES4HOA.
- **GSM RR 3G Reselection Measurements Parameters View** - Přehled naměřených parametrů rádiových zdrojů 3G reselection.
- **GSM Scan View** - 2D graf zobrazující úroveň signálu GSM kanálů.
- **GSM System Information View** - Seznam parametrů GSM zaslaných z BTS.

6 Analýza GSM

V této kapitole jsou analyzovány signalizační zprávy při sestavení a přijmutí hovoru, dále je analyzován také průběh handoveru.

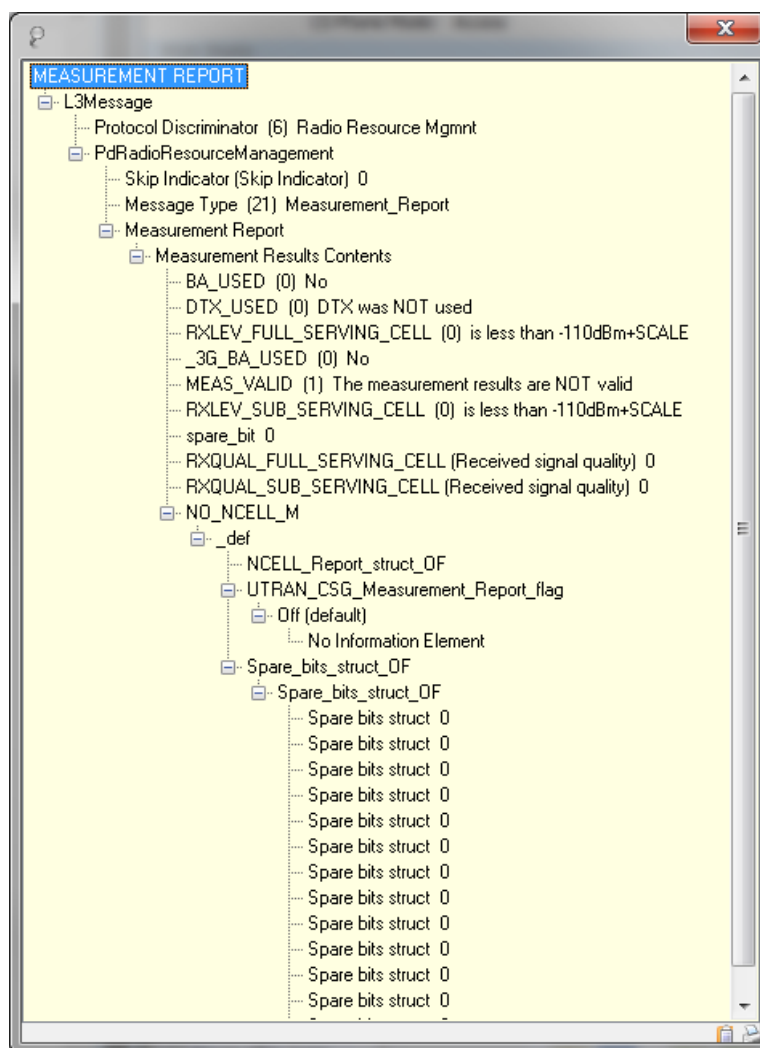
6.1 Odchozí hovor

Z kapitoly 4.1.1 již víme, pomocí kterých zpráv se provádí sestavování odchozího hovoru. Na obrázku č. 6.1 jsou zobrazeny signalizační zprávy z nástroje R&S ROMES. Zvýrazněný řádek zobrazuje začátek navazování odchozího hovoru.

Time	Type	L2	BCCH	Down	Up
00:05:06	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:07	Unknown	DM	-	CHANNEL RELEASE (Down)	
00:05:07	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:07	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:08	Unknown	I	-		CM SERVICE REQUEST (Up)
00:05:08	Unknown	UI	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 3 (Down)	
00:05:08	Unknown	RR	-	PAGING REQUEST TYPE 1 (Down)	
00:05:08	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:08	RACH	-	-		CHANNEL REQUEST (Up)
00:05:08	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 4 (Down)	
00:05:08	Unknown	SABM	-	IMMEDIATE ASSIGNMENT (Down)	
00:05:08	Unknown	I	-		CLASSMARK CHANGE (Up)
00:05:08	Unknown	I	-		UTRAN CLASSMARK CHANGE (Up)
00:05:08	Unknown	DM	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (Down)	
00:05:08	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:09	Unknown	RNR	-	CYPHERING MODE COMMAND (Down)	
00:05:09	Unknown	I	-		CYPHERING MODE COMPLETE (Up)
00:05:09	Unknown	RNR	-		SETUP (Up)
00:05:09	Unknown	RNR	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5ter (Down)	
00:05:09	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:09	Unknown	RNR	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 6 (Down)	
00:05:09	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:09	Unknown	I	-	IDENTITY REQUEST (Down)	
00:05:09	Unknown	REJ	-		IDENTITY RESPONSE (Up)
00:05:10	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:10	Unknown	I	-	CALL PROCEEDING (Down)	
00:05:10	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:10	Unknown	I	-	FACILITY MESSAGE (Down)	
00:05:11	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:11	Unknown	I	-	ASSIGNMENT COMMAND (Down)	
00:05:11	Unknown	REJ	-		ASSIGNMENT COMPLETE (Up)
00:05:11	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:12	Unknown	UI	-	PROGRESS (Down)	
00:05:12	Unknown	DM	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (Down)	
00:05:12	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:12	Unknown	RR	-	ALERTING (Down)	
00:05:12	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5ter (Down)	
00:05:12	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:12	Unknown	RNR	-		DISCONNECT (Up)
00:05:13	Unknown	DM	-	RELEASE (Down)	
00:05:13	Unknown	I	-		RELEASE COMPLETE (Up)
00:05:13	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 6 (Down)	
00:05:13	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:14	Unknown	DM	-	CHANNEL RELEASE (Down)	
00:05:14	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:15	Unknown	SABM	-	IMMEDIATE ASSIGNMENT (Down)	
00:05:18	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:18	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 4 (Down)	
00:05:18	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 2 (Down)	

Obrázek 6.1: Přehled signalizačních zpráv při sestavování odchozího spojení

Tyto jednotlivé zprávy lze zobrazit detailněji, abychom mohli vidět jejich vnitřní obsah, jako je typ zprávy, nesené informace, podporované šifrování atd. Detailní pohled je na obrázku č. 6.2.

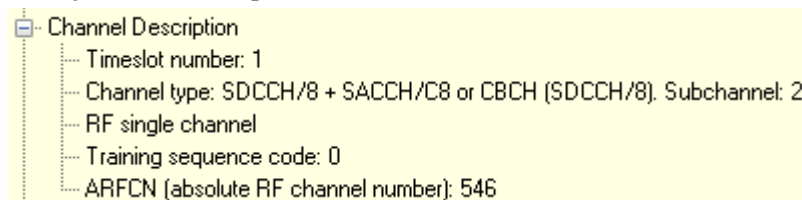


Obrázek 6.2: Detail zprávy „Measurement Report“

Průběh sestavování hovoru probíhá následovně.

1. „Channel Request“
2. „Immediate Assignment“

Zpráva obsahuje informace o přiděleném kanálu a timeslotu.

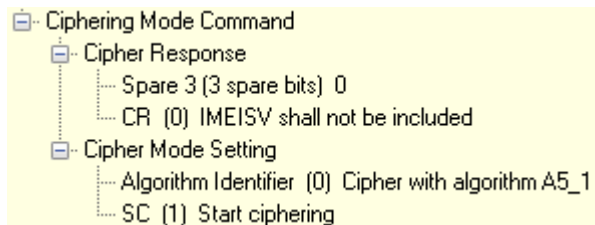


Obrázek 6.3: Zpráva "Immediate Assignment"

Na obrázku č. 6.3 se nacházejí přiřazené rádiové zdroje (timeslot, kanál). Zpráva dále obsahuje informace: „Dedicated mode or TBF“, „Page Mode“, „Request Reference“, „Timing Advance“, „Mobile Allocation“, „IA Rest Octets“.

3. „Cyphering Mode Command“

V této zprávě je informace o tom, jaké šifrování bude použito. Z obrázku č. 6.4 můžeme vidět, že bude použit algoritmus A5/1. Jedná se o šifrování používané při komunikaci pomocí GSM.

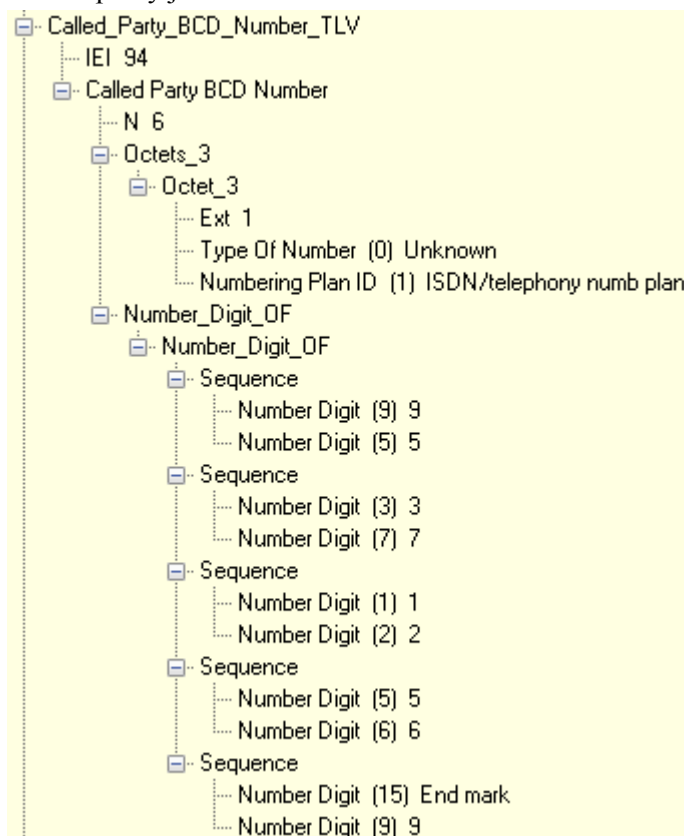


Obrázek 6.4: Zpráva „Ciphering Mode Command“

4. „Cyphering Mode Complete“

5. „Setup“

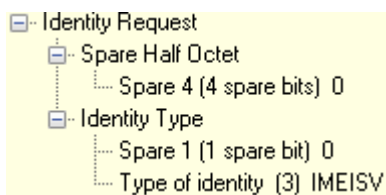
Zpráva obsahuje námi volané číslo, informace o podporovaných kodecích. Také nese informace o tom, že se jedná o přenos hlasu, tudíž se používá okruhově spínaná doména. Obsah této zprávy je zobrazen na obrázku č. 6.5.



Obrázek 6.5: Část zprávy "Setup" s informacemi o volaném čísle

6. „Identity Request“

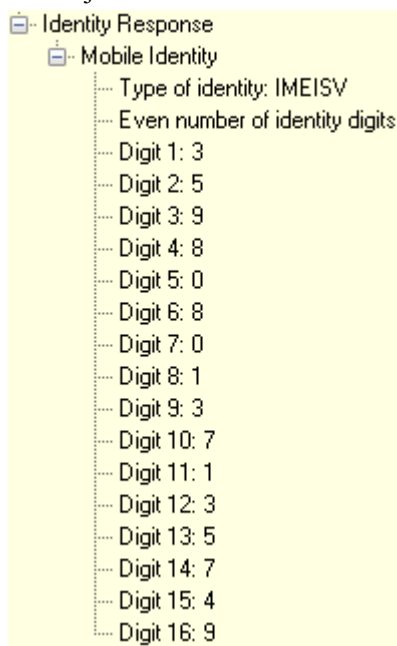
Žádost o identifikaci pomocí IMEISV. Struktura zprávy je znázorněna na obrázku č. 6.6.



Obrázek 6 .6: "Identity Request"

7. „Identity Response“

V této zprávě je zasláno požadované IMEISV. Struktura zprávy je znázorněna na obrázku č. 6.7. Zpráva obsahuje IMEISV = 3598080137135749.



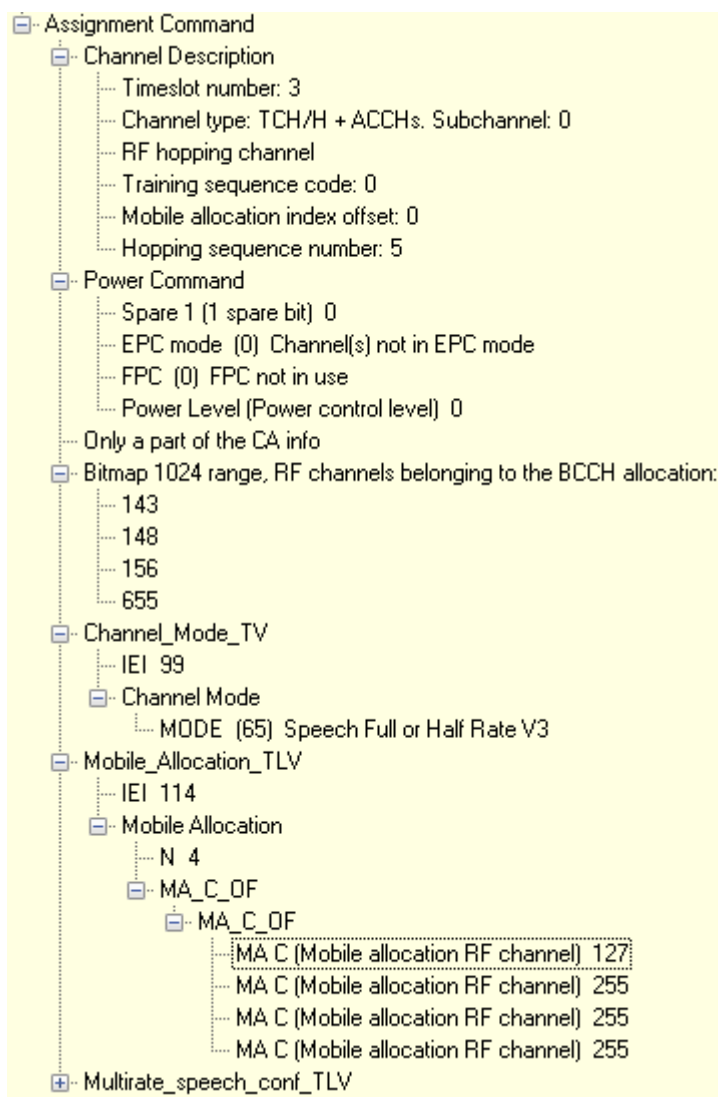
Obrázek 6 .7: Zpráva "Identity Response"

8. „Call Proceeding“

Pomocí této zprávy je MS informována o tom, že probíhá sestavování spojení a požadavek je zařazen do fronty.

9. „Assignment Command“

Zpráva informuje MS o přepnutí komunikace ze signalizace na hovor. Zpráva obsahuje informace o timeslotu, typu kanálu, o kanálu BCCH a o použitém módu hovoru. Zpráva je zobrazena na obrázku č. 6.8.



Obrázek 6.8: Zpráva "Assignment Command"

10. „Assignment Complete“

MS informuje BTS o provedení požadovaných změn.

11. „Alerting“

Uživatel je nyní informován o tom, že volané číslo je již upozorňováno na hovor. MS je v této chvíli ve stavu „Dedicated“, kdy má vyhrazen kanál pro telefonní hovor.

12. „Disconnect“

Uživatel ukončil hovor (došlo k tzv. „prozvonění“ volaného čísla), dochází k přechodu MS do stavu „Idle“, ve kterém již MS nemá vyhrazený kanál pro hovor.

13. „Release“

MS je informována, aby přerušila spojení.

14. „Release Complete“

MS informuje BTS o provedení požadavku.

6.2 Příchozí hovor

V kapitole 4.1.2 je popsán průběh sestavování spojení v případě příchozího hovoru. Nyní bude tento průběh prakticky zanalyzován. Na obrázku č. 6.9 jsou zobrazeny signalizační zprávy příchozího hovoru. Zvýrazněný řádek zobrazuje zaslání požadavku na alokování kanálu.

Time	Type	L2	BCCH	Down	Up
00:05:18	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 2 (Down)	
00:05:18	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 2 (Down)	
00:05:19	Unknown	REJ	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 1 (...)	
00:05:19	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 2 (Down)	
00:05:19	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:19	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 2 (...)	
00:05:19	Unknown	RR	-	PAGING REQUEST TYPE 1 (Down)	
00:05:19	Unknown	I	-	PAGING REQUEST TYPE 3 (Down)	
00:05:19	RACH	-	-		CHANNEL REQUEST (Up)
00:05:19	Unknown	UI	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 3 (...)	
00:05:19	Unknown	SABM	-	IMMEDIATE ASSIGNMENT (Down)	
00:05:19	Unknown	Invalid message id	-		PAGING RESPONSE (Up)
00:05:19	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:20	Unknown	I	-		CLASSMARK CHANGE (Up)
00:05:20	Unknown	I	-		UTRAN CLASSMARK CHANGE (Up)
00:05:20	Unknown	DM	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (...)	
00:05:20	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:20	Unknown	RNR	-	CYPHERING MODE COMMAND (Do...)	
00:05:20	Unknown	I	-		CYPHERING MODE COMPLETE (Up)
00:05:20	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5te...	
00:05:20	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:20	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 6 (...)	
00:05:21	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:21	Unknown	I	-	IDENTITY REQUEST (Down)	
00:05:21	Unknown	REJ	-		IDENTITY RESPONSE (Up)
00:05:21	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:21	Unknown	RNR	-	SETUP (Down)	
00:05:21	Unknown	I	-		CALL CONFIRMED (Up)
00:05:22	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:22	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:22	Unknown	UI	-	PROGRESS (Down)	
00:05:23	Unknown	DM	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (...)	
00:05:23	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:23	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5te...	
00:05:23	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:23	Unknown	REJ	-	ASSIGNMENT COMMAND (Down)	
00:05:23	Unknown	RR	-		ASSIGNMENT COMPLETE (Up)
00:05:23	Unknown	RNR	-		ALERTING (Up)
00:05:23	Unknown	DM	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:24	Unknown	RNR	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5 (...)	
00:05:24	Unknown	I	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:24	Unknown	RNR	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 5te...	
00:05:24	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:25	Unknown	I	-	SYSTEM INFORMATION TYPE 6 (...)	
00:05:25	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:25	Unknown	UI	-		CONNECT (Up)
00:05:25	Unknown	DM	-	CONNECT ACKNOWLEDGE (Down)	
00:05:25	Unknown	RNR	-		MEASUREMENT REPORT (Up)
00:05:26	Unknown	I	-	FACILITY MESSAGE (Down)	

Obrázek 6.9: Náhled zpráv příchozího hovoru

1. „Paging Request Type 3“

MS dorazil požadavek o „Channel Request“. MS poznala, že se jedná o zprávu určenou pro ni podle TMSI ve zprávě. Požadavek je znázorněn na obrázku č. 6.10, červeně zatrženo je TMSI MS.

[-] Paging Req Type 3
[-] Channel Needed
[-] Page Mode
Spare 2 (2 spare bits) 0
PM (0) Normal paging
TMSI/P-TMSI: 432644013, 0x19C99FAD
TMSI/P-TMSI: 433385277, 0x19D4EF3D
TMSI/P-TMSI: 401241173, 0x17EA7455
TMSI/P-TMSI: -1086633507, 0xBF3B49DD
[-] P3 Rest Octets

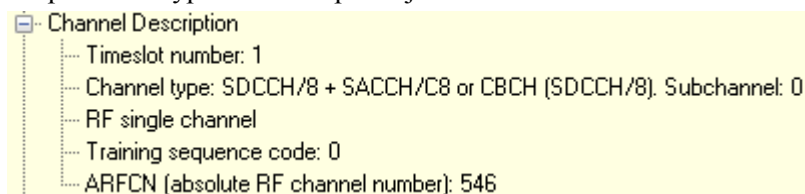
Obrázek 6.10: Zpráva "Paging Request Type 3"

Existují také zprávy „Paging Request Type 1“ a „Paging Request Type 2“, rozdíl mezi zprávami je v maximálním počtu MS obslužených jednou zprávou. U typu 1 jsou to dvě MS, u typu 2 tři MS a u typu 3 to jsou čtyři MS.

2. „Channel Request“

3. „Immediate Assignment“

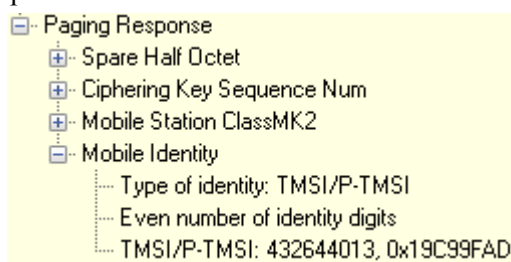
Ve zprávě je definován přidělený timeslot = 1, kanál a ARCFN = 546. Obsahuje informace o použitém typu kanálu. Zpráva je zobrazena na obrázku č. 6.11.



Obrázek 6.11: Zpráva "Immediate Assignment"

4. „Paging Response“

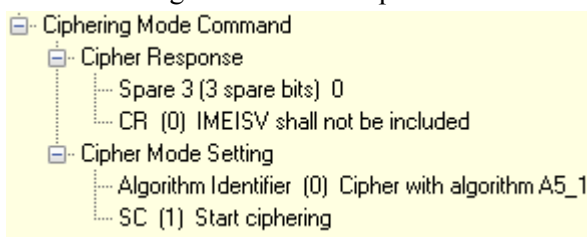
Zpráva obsahuje odpověď na požadavek „Paging Request“. Na obrázku č. 6.12 lze vidět identifikaci MS pomocí TMSI = 432644013.



Obrázek 6.12: Zpráva „Paging Response“

5. „Cyphering Mode Command“

Ve zprávě je zaslán požadavek o komunikaci pomocí šifrování algoritmem A5/1. Zpráva je na obrázku č. 6.13. Algoritmus A5/1 se používá v sítích GSM.



Obrázek 6.13: Zpráva „Cyphering Mode Command“

6. „Cyphering Mode Complete“

Odpověď na požadavek šifrování komunikace.

7. „Identity Request“

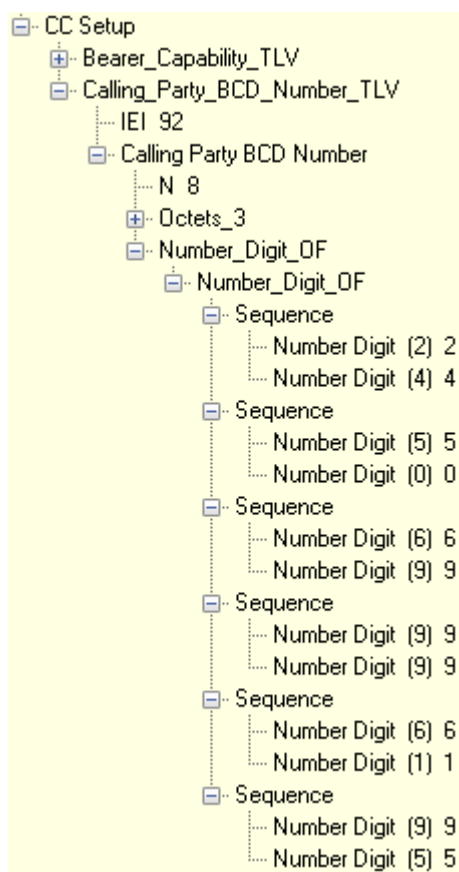
Je požadována identifikace MS pomocí IMEISV.

8. „Identity Response“

Odpověď na požadavek identifikace, tato zpráva obsahuje hodnotu IMEISV.

9. „Setup“

Zpráva obsahuje informace o čísle, ze kterého je voláno na MS. Obsah zprávy je na obrázku č. 6.14.



Obrázek 6.14: Zpráva "Setup"

10. „Call Confirmed“

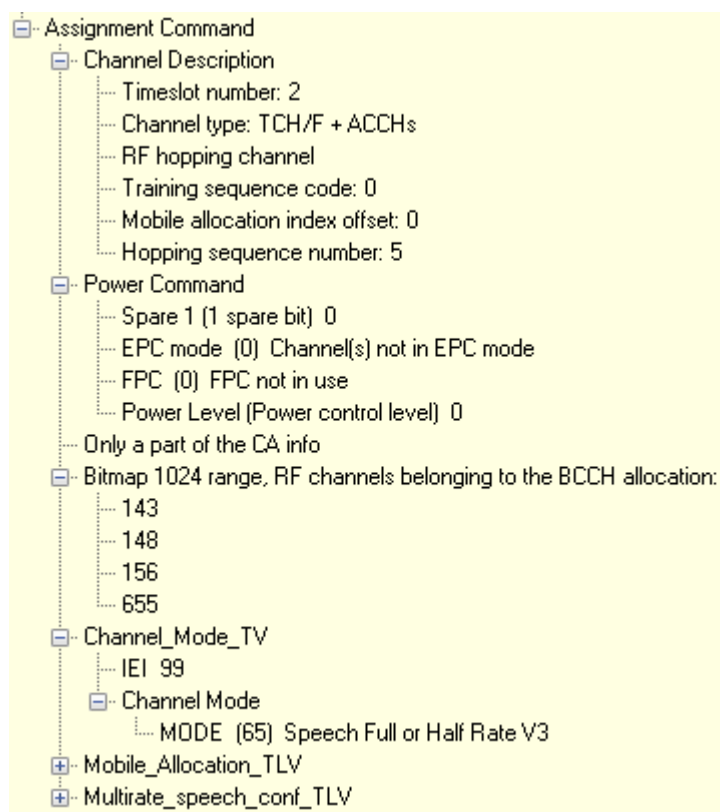
Zpráva obsahuje informace o tom, jaké kodeky pro hovor MS podporuje. Zpráva je poslána z MS do BTS.

11. „Progress“

MS je informována o tom, že probíhá navazování spojení a požadavek je zařazen do fronty.

12. „Assignment Command“

Zpráva je zobrazena na obrázku č. 6.15. Nese informaci o kanálu a timeslotu, který byl přiřazen MS pro spojení.



Obrázek 6.15: Zpráva "Assignment Command"

13. „Assignment Complete“

MS informuje BTS o provedení požadovaných změn.

14. „Alerting“

MS zasílá zprávu BTS s informací o tom, že je již uživatel upozorňován vyzváněním na příchozí hovor. V této chvíli má MS již vyhrazen kanál pro hovor a nachází se ve stavu „Dedicated“.

15. „Connect“

Zpráva je zaslána v případě přijetí hovoru.

16. „Connect Acknowledge“

Zpráva potvrzující přijetí hovoru. V průběhu hovoru dochází také k tzv. „Handoveru“, ten je popsán v kapitole 6.3. Hovor je poté ukončen následujícími zprávami.

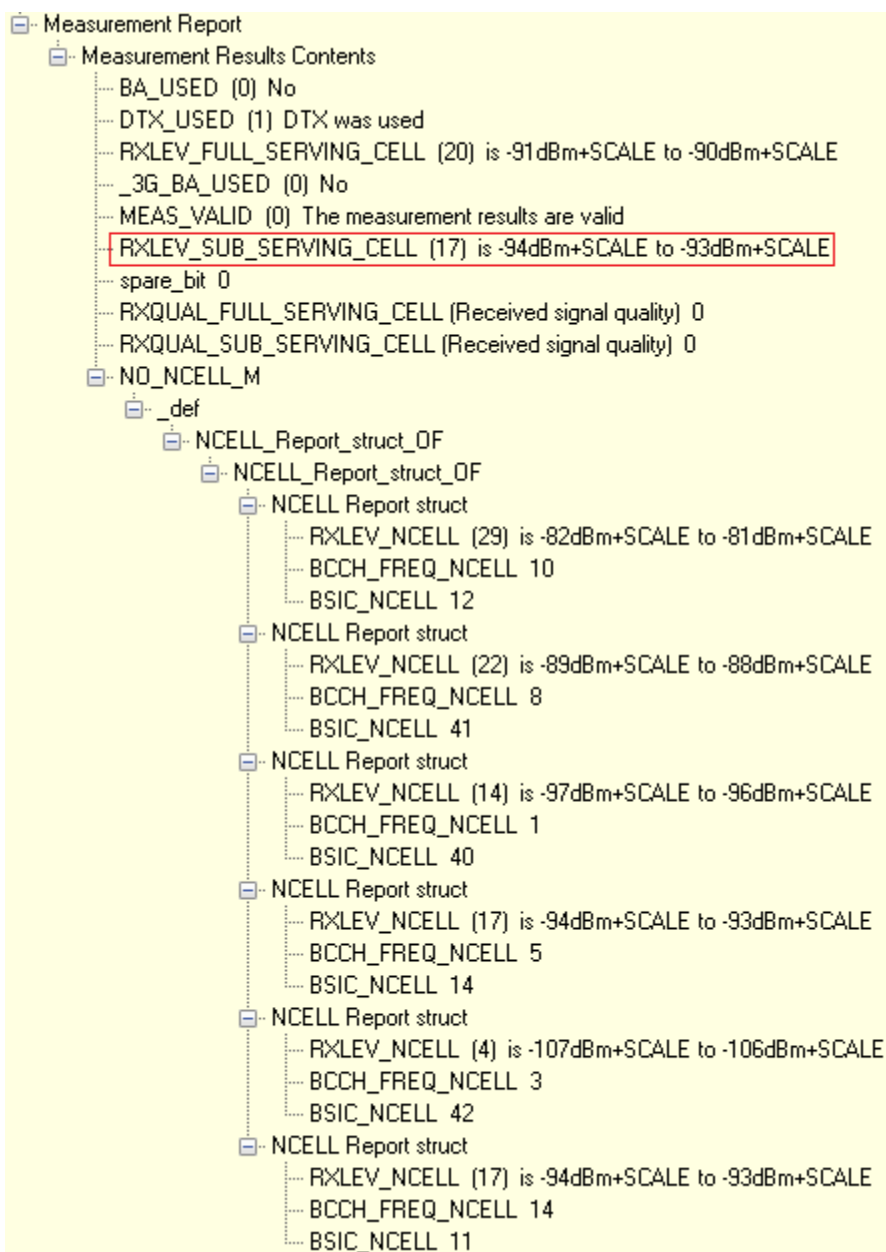
17. „Disconnect“**18. „Release“****19. „Channel Release“**

6.3 Provedení handoveru

Princip handoveru je vysvětlen v kapitole 4.1.3. MS neustále komunikuje s BTS pomocí zprávy „Measurement Report“, ve které zasílá informace o aktuální síle signálu vysílače, na který je připojen. Také zasílá úroveň signálů ostatních vysílačů v dosahu. V případě, že je úroveň signálu jiného vysílače vyšší než úroveň aktuálního vysílače, na kterém je MS připojena, zašle BTS MS zprávu „Handover Command“ s požadavkem na přepojení na tento vysílač.

Na obrázku č. 6.16 je znázorněn obsah zprávy „Measurement Report“.

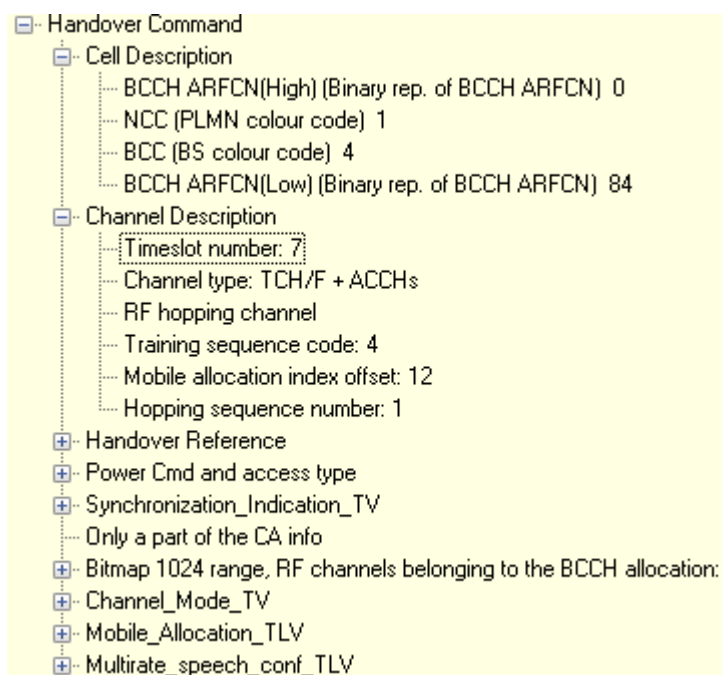
Červeně ohraničený řádek označuje aktuální úroveň signálu. Rozevírající řádek „NO_NCELL_M“ obsahuje úrovně signálů sousedních vysílačů.



Obrázek 6.16: Zpráva "Measurement Report"

1. „Handover Command“

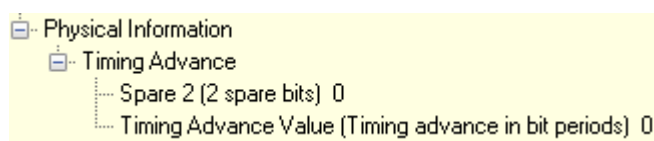
Po zaslaném reportu MS obdržela zprávu „Handover Command“, která nese informaci, na který vysílač se má připojit. Zpráva je zobrazena na obrázku č. 6.17. Možnost „Cell Description“ určuje parametry buňky, možnost „Channel Description“ poté definuje číslo timeslotu, typ kanálu atd.



Obrázek 6.17: Zpráva "Handover Command"

2. „Physical Information“

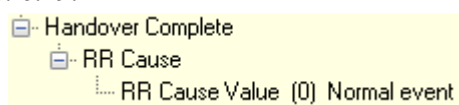
Zpráva je zobrazena na obrázku č. 6.18. Obsahuje informaci o časové a frekvenční korekci.



Obrázek 6.18: Zpráva "Physical Information"

3. „Handover Complete“

Zpráva informuje BTS o provedení změny a přepojení na jiný vysílač. Zpráva je zobrazena na obrázku č. 6.19.



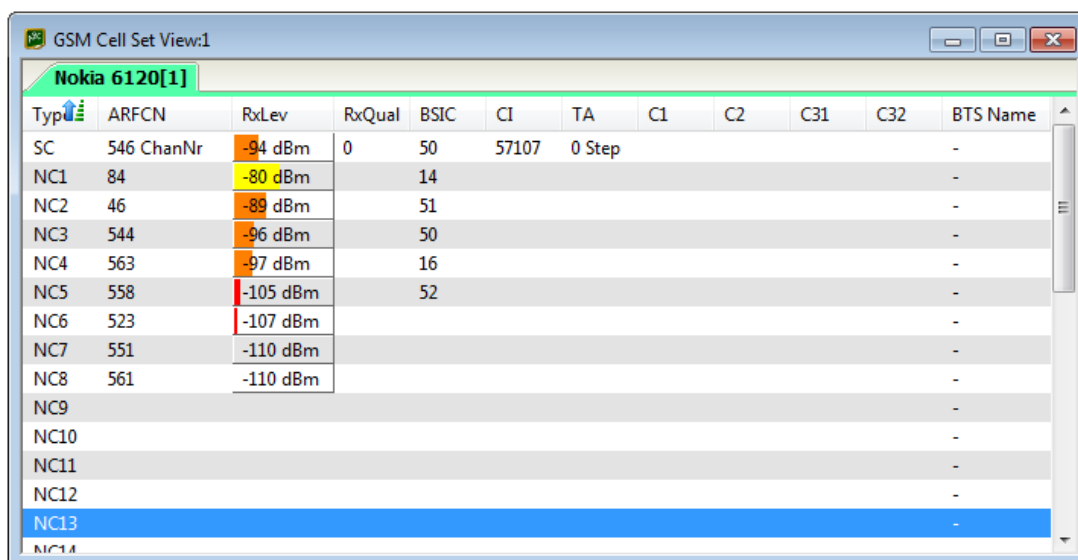
Obrázek 6.19: Zpráva "Handover Complete"

V této chvíli je již MS přepojena na jiný vysílač a kontroluje úroveň signálu. V případě poklesu úrovně signálu dochází znovu k handoveru.

6.4 R&S ROMES náhledy pro GSM

6.4.1 GSM Cell Set View

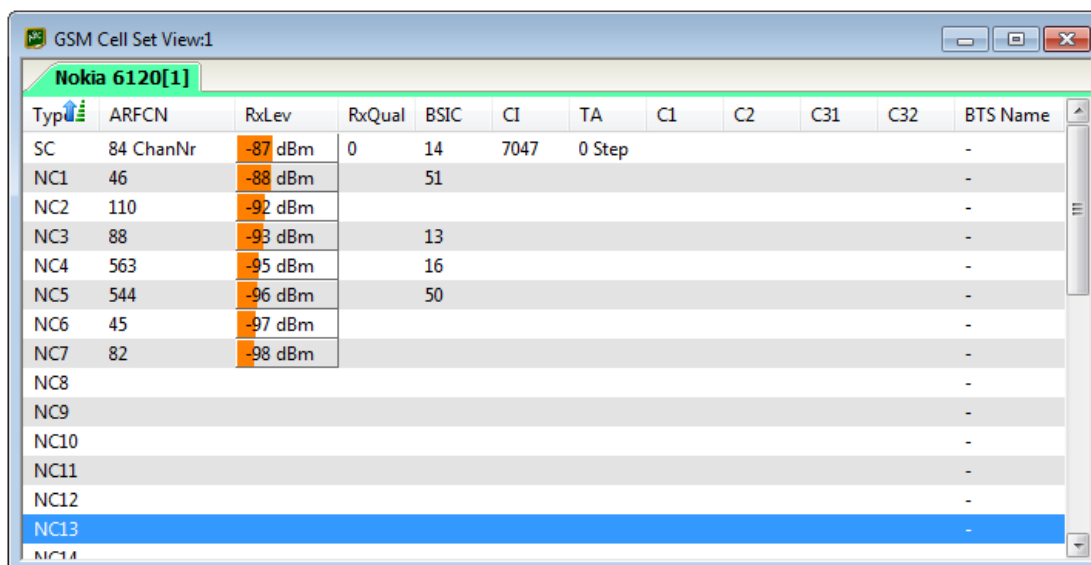
Pro přehlednější zobrazení okolních vysílačů lze použít náhled „GSM Cell Set View“ zobrazený na obrázku č. 6.20. Náhled zobrazuje hodnoty ARFCN, RxLev, RxQual, BSIC, CI, TA, C1, C2, C32 a v případě, že je dostupný seznam BTS stanic také jejich jméno. Před handoverem je MS připojena k vysílači s parametry ARFCN = 546, BSIC = 50, CI = 57107, TA = 0.



Typ	ARFCN	RxLev	RxQual	BSIC	CI	TA	C1	C2	C31	C32	BTS Name
SC	546 ChanNr	-94 dBm	0	50	57107	0 Step					-
NC1	84	-80 dBm		14							-
NC2	46	-89 dBm		51							-
NC3	544	-96 dBm		50							-
NC4	563	-97 dBm		16							-
NC5	558	-105 dBm		52							-
NC6	523	-107 dBm									-
NC7	551	-110 dBm									-
NC8	561	-110 dBm									-
NC9											-
NC10											-
NC11											-
NC12											-
NC13											-
NC14											-

Obrázek 6.20: Náhled "GSM Cell Set View"

Po provedení handoveru lze vidět změnu ARFCN, RxLev, BSIC a CI na obrázku č. 6.21. Nový vysílač má parametry ARFCN = 84, BSIC = 14, CI = 7047, TA = 0. Dle použitého seznamu BTS stanic z [7] bylo zjištěno, že před handoverem byla MS připojena k vysílači umístěnému na adrese Ostrava-Poruba, Studentská 1770/1, koleje VŠB-TU, blok A. Po handoveru byla připojena k vysílači umístěnému na adrese Ostrava-Poruba, Alšovo nám. 691/4.



Typ	ARFCN	RxLev	RxQual	BSIC	CI	TA	C1	C2	C31	C32	BTS Name
SC	84 ChanNr	-87 dBm	0	14	7047	0 Step					-
NC1	46	-88 dBm		51							-
NC2	110	-92 dBm									-
NC3	88	-93 dBm		13							-
NC4	563	-95 dBm		16							-
NC5	544	-96 dBm		50							-
NC6	45	-97 dBm									-
NC7	82	-98 dBm									-
NC8											-
NC9											-
NC10											-
NC11											-
NC12											-
NC13											-
NC14											-

Obrázek 6.21: Náhled "GSM Cell set View"

6.4.2 3GPP Handover Analyzer

Pro zobrazení všech handoverů lze použít náhled „3GPP Handover Analyzer View“, který zobrazí veškeré provedené handovery. Náhled je zobrazen na obrázku č. 6.22. Sloupec „Handover“ obsahuje informace o tom, k jakému druhu handoveru došlo. Sloupec „Time“ obsahuje čas, kdy proběhlo k handoveru. Sloupec „Event“ zobrazuje druh události. Sloupec „Result“ dále obsahuje výsledek handoveru, který v analyzovaném záznamu proběhl úspěšně. Sloupec „Add“ obsahuje údaje o BTS, na kterou je MS přepojena. Sloupec „Remove“ obsahuje údaje o BTS, ze které se MS odpojuje.

Handover	Time	Event	Result	Add	Remove
1. 2G->2G CS	00:05:29	2G->2G HO	Complete	BCCH: 84, BSIC: 14	BCCH: 546, BSIC: 50, CI: 57107, LAC: 1713
1. HANDOVER COMMA...	00:05:29				
2. HANDOVER COMPLE...	00:05:30				

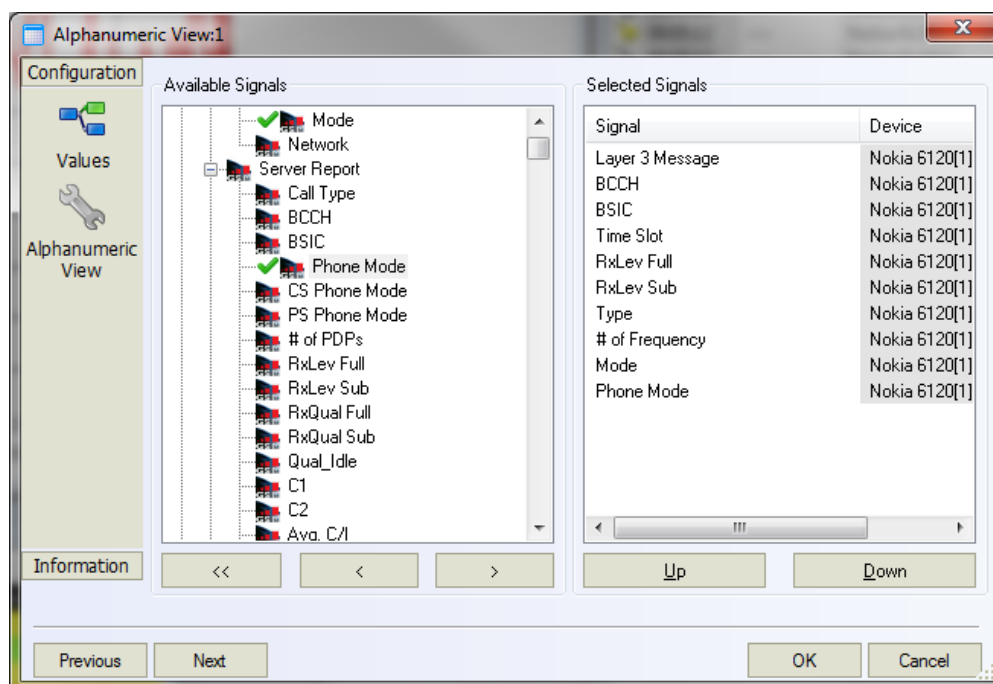
Obrázek 6.22: Náhled "3GPP Handover Analyzer View"

6.4.3 Alphanumeric View

Pro přehlednější zobrazení údajů lze použít náhled „Alphanumeric View“ z obrázku č. 6.23, ve kterém máme možnost přidání informací, které chceme zobrazovat. Například aktuální zprávu vrstvy L3, kanál BCCH, BSIC, Timeslot, úroveň signálu, typ spojení. V tomto náhledu je možné přidat další hodnoty pro zobrazení pomocí menu položky „Configure“ na obrázku č. 6.24. Zvolené položky se do náhledu přidávají dvojklikem, nebo kliknutím na znak „>“ pro přidání, anebo „<“ pro odebrání. Náhled z obrázku č. 6.23 obsahuje informace o vybraných parametrech, druhu jednotky, ve které je hodnota uvedena a samotnou hodnotu.

Parameter	[Unit]	Nokia 6120[1]
Layer 3 Message		HANDOVER COMMAND (Down)
BCCH	ChanNr	546
BSIC		50
Time Slot		2
RxLev Full	dBm	-88
RxLev Sub	dBm	-88
Type		2G->2G CS
# of Frequency		31
Mode		GSM
Phone Mode		Dedicated

Obrázek 6.23: Náhled "Alphanumeric View"



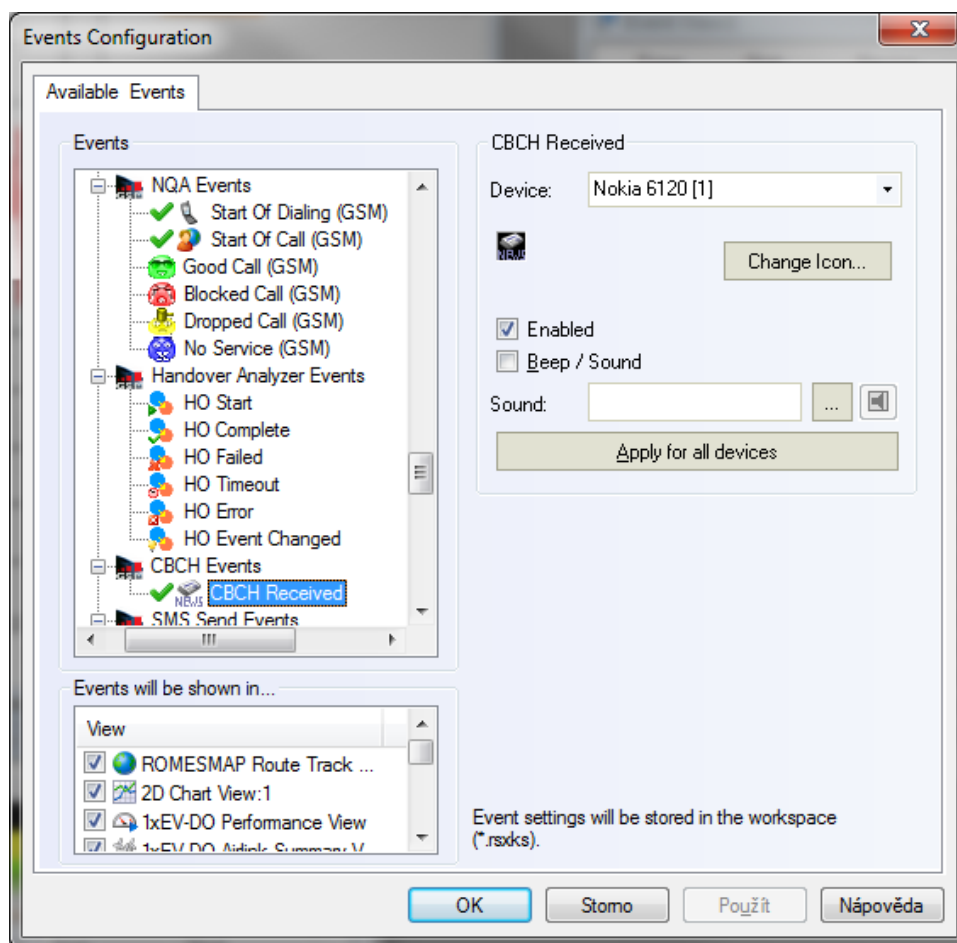
Obrázek 6.24: Možnosti konfigurace "Alphanumeric View"

6.4.4 Event View

Podobně si lze zobrazit a konfigurovat zobrazení událostí pomocí náhledu „Event View“ na obrázku č. 6.25. Pomocí menu položky „Configure Events“ na obrázku č. 6.26 lze nastavit zobrazení určitých událostí. Události se v položce „Configure Events“ vybírají dvojklikem.

	Time	Dist.	Device	Text	Info
	00:05:00	---	Nokia 6120[1]	CM Service Request	
	00:05:01	---	Nokia 6120[1]	Setup	
	00:05:03	---	Nokia 6120[1]	Disconnect	
	00:05:04	---	Nokia 6120[1]	Release	
	00:05:04	---	Nokia 6120[1]	Release Complete	
	00:05:07	---	Nokia 6120[1]	Channel Release	
	00:05:08	---	Nokia 6120[1]	CM Service Request	
	00:05:09	---	Nokia 6120[1]	Setup	
	00:05:12	---	Nokia 6120[1]	Alerting	
	00:05:12	---	Nokia 6120[1]	Disconnect	
	00:05:13	---	Nokia 6120[1]	Release	
	00:05:13	---	Nokia 6120[1]	Release Complete	
	00:05:13	---	Nokia 6120[1]	Channel Release	
	00:05:21	---	Nokia 6120[1]	Setup	
	00:05:23	---	Nokia 6120[1]	Alerting	
	00:05:25	---	Nokia 6120[1]	Connect	
	00:05:25	---	Nokia 6120[1]	Connect Acknowledge	
	00:05:29	---	Nokia 6120[1]	Handover Command	HO Command TS:7 BCCH:84 TCH:-
	00:05:30	---	Nokia 6120[1]	Handover Complete	
	00:07:29	---	Nokia 6120[1]	Disconnect	
	00:07:29	---	Nokia 6120[1]	Release	
	00:07:29	---	Nokia 6120[1]	Release Complete	
	00:07:29	---	Nokia 6120[1]	Channel Release	

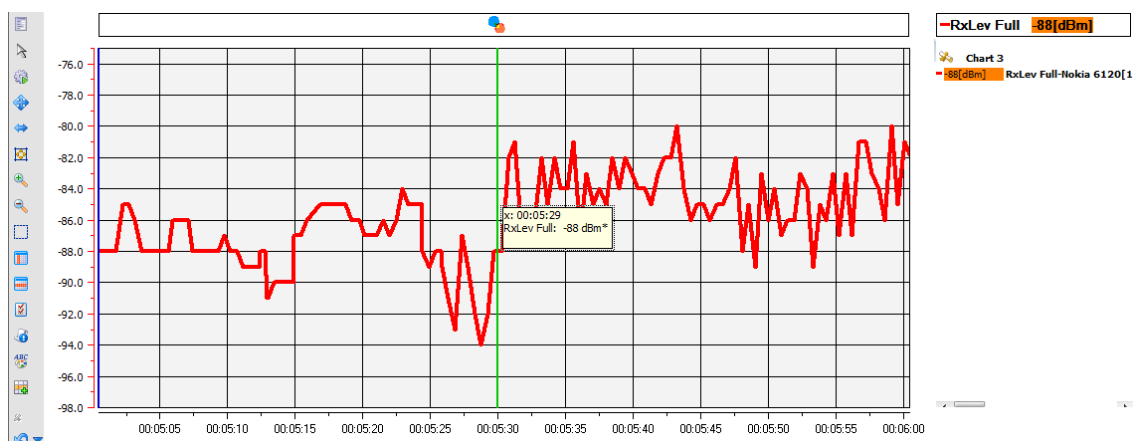
Obrázek 6.25: Náhled "Event View"



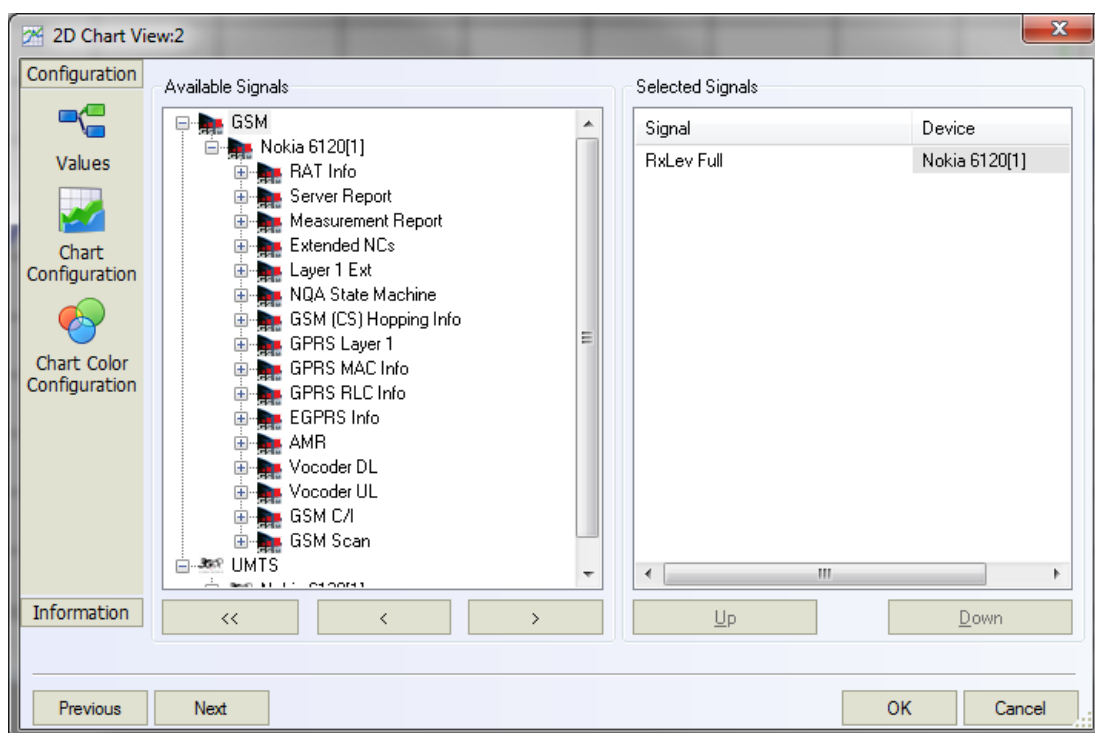
Obrázek 6.26: Možnosti konfigurace náhledu "Event View"

6.4.5 2D Chart View

Průběh úrovně signálu lze zobrazit pomocí náhledu „2D Chart View“ v menu „Basic Views“. V náhledu na obrázku č. 6.27 lze zobrazit průběh libovolného zvoleného údaje. Údaj k zobrazení se volí při pravém kliknutí do oblasti grafu na položku menu „Configure“, poté se v nabídce na obrázku č. 6.28 zobrazí možnosti k zobrazení. Požadované parametry se do grafu přidají dvojklikem na požadovaný údaj. Případně pomocí znaků „>“ a „<“. Na obrázku č. 6.27 je zobrazen průběh záznamu s úrovní signálu. Je zřetelně vidět, že v čase 5:28-5:29 došlo k propadu úrovně signálu. V čase 5:29 byla proto síť zaslána zpráva „Handover Command“ pro změnu vysílače. Doba zaslání zprávy je znázorněna zelenou přímkou v grafu. Po provedení handoveru je úroveň signálu opět vysoká.



Obrázek 6.27: Náhled "2D Chart View"



Obrázek 6.28: Konfigurace náhledu "2D Chart View"

7 Analýza 3G

V této kapitole jsou analyzovány signalizační zprávy průběhu komunikace při datovém přenosu v 3G síti. Na analýzu navazuje zadání pro odborný předmět. V analýze je zaznamenáno navazování paketového spojení.

7.1 Navázání paketového spojení

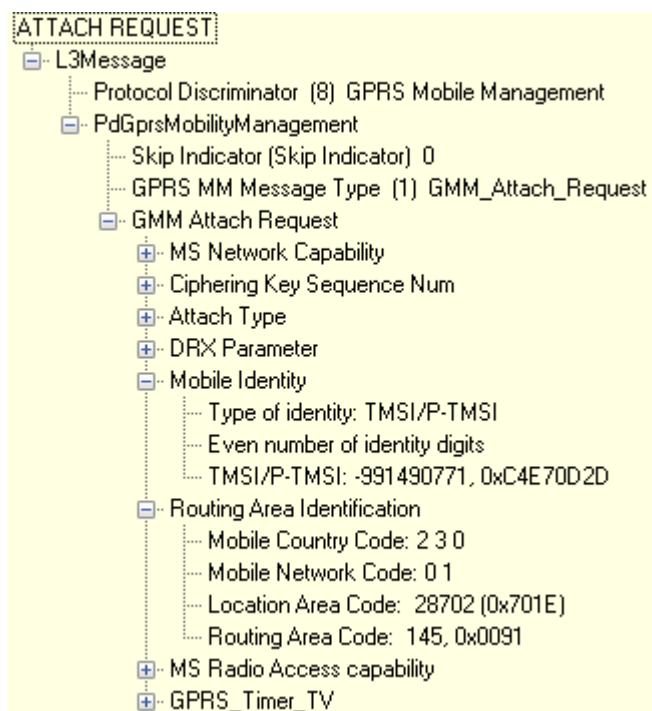
Z kapitoly 4.2 víme, jak probíhá navazování paketového spojení. Na obrázku č. 7.1 jsou zobrazeny signalizační zprávy z nástroje R&S ROMES. Zobrazené zprávy představují průběh sestavení datového spojení. Komunikace probíhá následovně.

00:00:08	GMM		ATTACH REQUEST (Up)
00:00:08	UL CCCH (RRC)		rrcConnectionRequest (Up)
00:00:08	DL BCCH BCH (RRC)	BCCH BCH Message (Down)	
00:00:08	MasterInformationBlock (RRC)	Master Information Block (Down)	
00:00:08	SIB7 (RRC)	System Information Block 7 (Down)	
00:00:09	DL CCCH (RRC)	rrcConnectionSetup (Down)	
00:00:09	UL DCCH (RRC)		rrcConnectionSetupComplete (Up)
00:00:09	UL DCCH (RRC)		initialDirectTransfer (Up)
00:00:09	DL DCCH (RRC)	measurementControl (Down)	
00:00:09	GMM	AUTHENTICATION AND CIPHERING REQ (D...	
00:00:09	DL DCCH (RRC)	downlinkDirectTransfer (Down)	
00:00:10	DL DCCH (RRC)	measurementControl (Down)	
00:00:10	GMM		AUTHENTICATION AND CIPHERIN...
00:00:10	UL DCCH (RRC)		uplinkDirectTransfer (Up)
00:00:10	DL DCCH (RRC)	securityModeCommand (Down)	
00:00:10	UL DCCH (RRC)		securityModeComplete (Up)
00:00:11	GMM	ATTACH ACCEPT (Down)	
00:00:11	DL DCCH (RRC)	downlinkDirectTransfer (Down)	
00:00:11	GMM		ATTACH COMPLETE (Up)
00:00:11	UL DCCH (RRC)		uplinkDirectTransfer (Up)
00:00:11	GMM		ACTIVATE PDP CONTEXT REQUE...
00:00:11	UL DCCH (RRC)		uplinkDirectTransfer (Up)
00:00:12	DL DCCH (RRC)	radioBearerSetup (Down)	
00:00:12	UL DCCH (RRC)		radioBearerSetupComplete (Up)
00:00:12	DL DCCH (RRC)	measurementControl (Down)	
00:00:12	DL DCCH (RRC)	measurementControl (Down)	
00:00:13	DL DCCH (RRC)	downlinkDirectTransfer (Down)	
00:00:13	GMM	ACTIVATE PDP CONTEXT ACCEPT (Down)	

Obrázek 7.1: Zprávy navázání datového přenosu

1. „Attach Request“

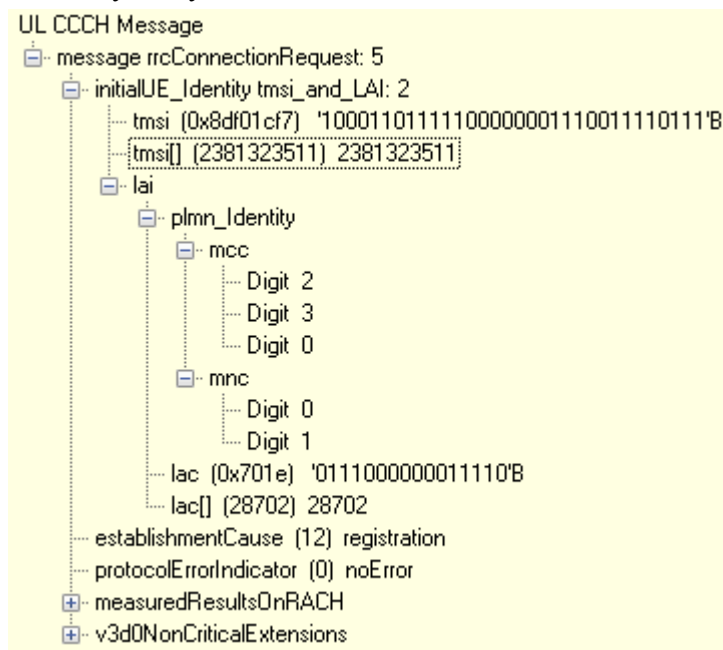
Zpráva zaslána do sítě s žádostí o přístup k síti. Obsahuje informace o síti, Location Area a Routing Area. Dále obsahuje informace o schopnostech UE, například podporu šifrování, podporované sítě (GSM, UMTS, HSPA). Na obrázku č. 7.2 je zobrazen náhled zprávy „Attach Request“. Na obrázku lze vidět například informace o UE (Identifikace UE, schopnosti UE pro komunikaci). V této chvíli se UE nachází ve stavu „Idle“.



Obrázek 7.2: Zpráva „Attach Request“

2. „RRC Connection Request“

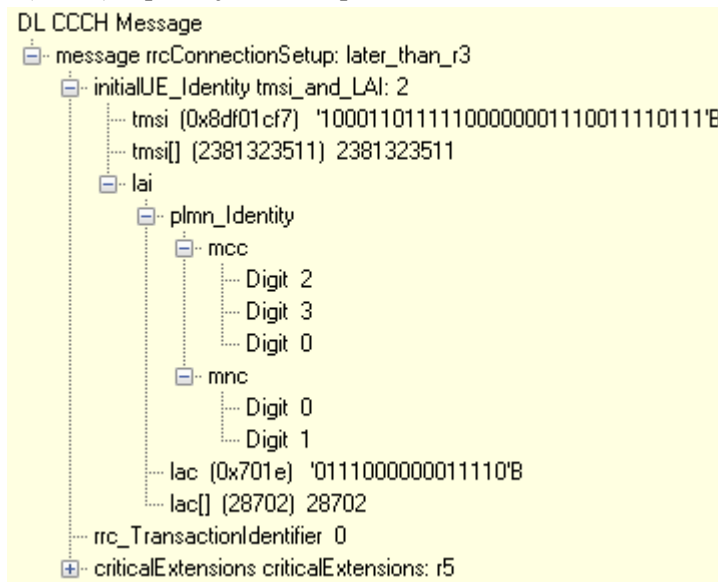
Zpráva na obrázku č. 7.3 obsahuje informace o identitě UE. Je přenesena pomocí kanálu UL CCCH (RRC). Ve zprávě lze vyčíst hodnotu TUEI a LAC. Zpráva dále obsahuje naměřené výsledky na kanále RACH.



Obrázek 7.3: Zpráva „RRC Connection Request“

3. „RRC Connection Setup“

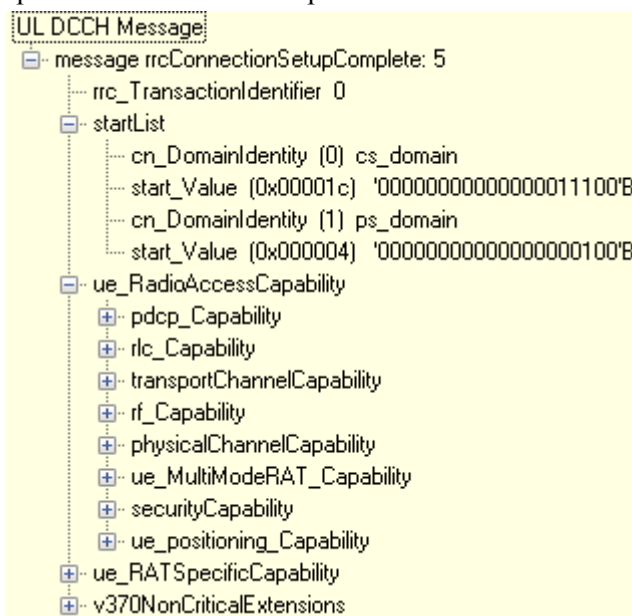
Zpráva je poslána síti k přijetí spojení RRC s UE, přiřazuje ke spojení signalizační a transportní kanál. Na obrázku č. 7.4 lze vidět obsah zprávy. Obsahuje informace o identitě UE (TMSI). Zpráva je zaslána pomocí kanálu DL CCCH.



Obrázek 7.4: Zpráva „RRC Connection Setup“

4. „RRC Connection Setup Complete“

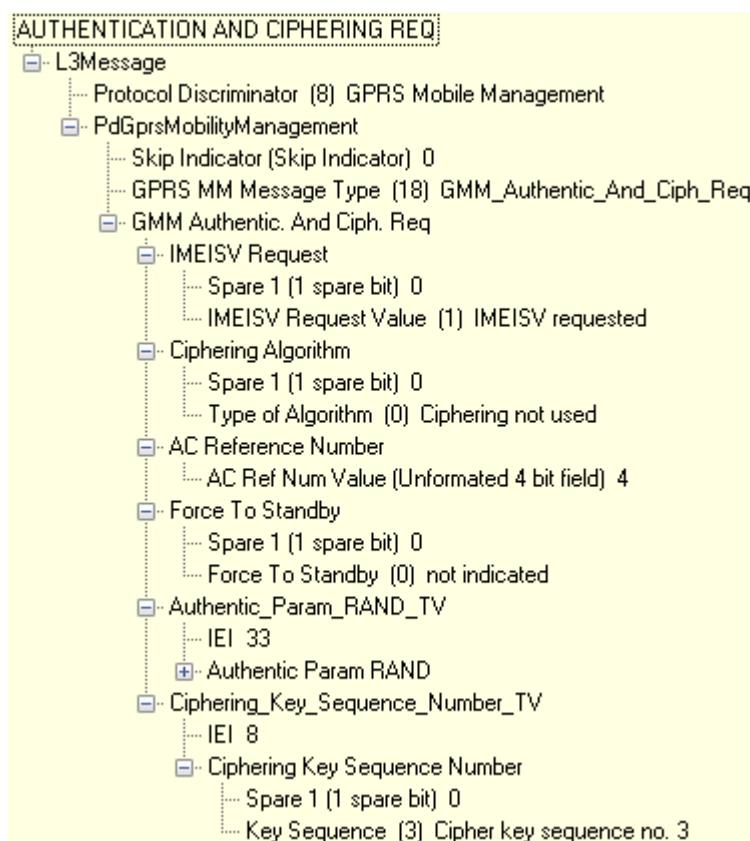
Zpráva zasláná z UE na obrázku č. 7.5 potvrzuje navázání spojení. Zpráva obsahuje informace o schopnostech UE. Je zaslána pomocí kanálu UL DCCH.



Obrázek 7.5: Zpráva „RRC Connection Setup Complete“

5. „Authentication And Ciphering Request“

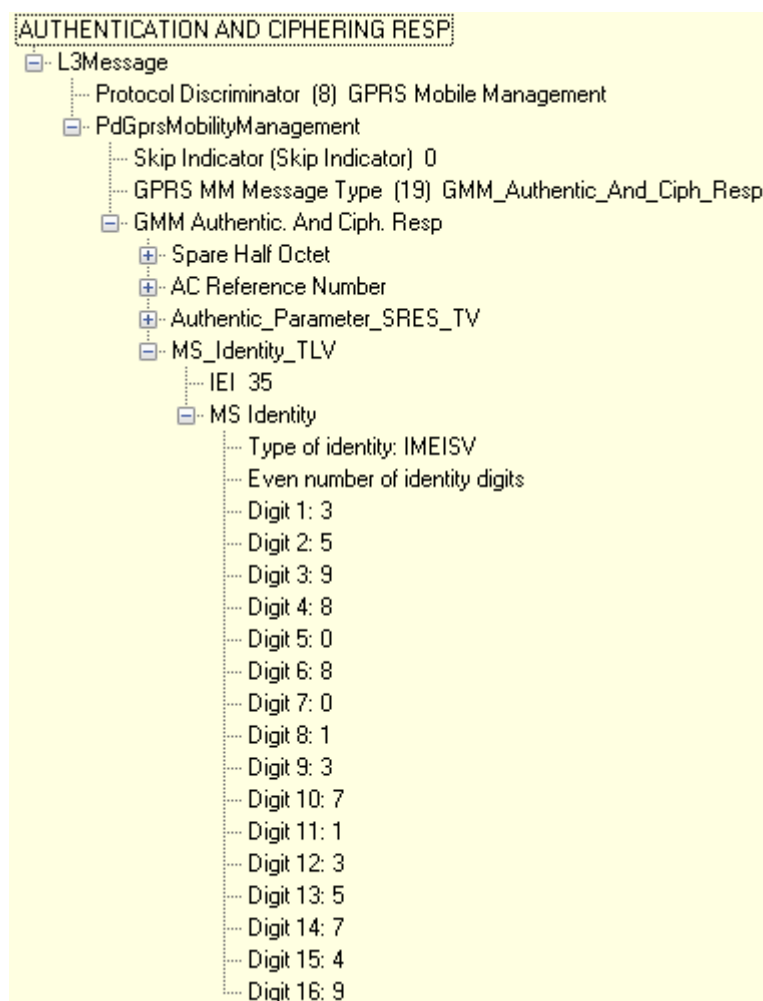
Zpráva zaslána síti k UE s požadavkem šifrování a ověřením identity. Obsah zprávy je zobrazen na obrázku č. 7.6. Obsahuje požadavek o IMEISV, dále obsahuje náhodný autentizační parametr.



Obrázek 7.6: Zpráva „Authentication And Ciphering Request“

6. „Authentication and Ciphering Response“

Obsahuje požadované identifikační údaje (IMEISV), viz obrázek č. 7.7. Ze zprávy lze vyčíst odeslaná hodnota IMEISV = 359808137135749.



Obrázek 7.7: Zpráva „Authentication And Ciphering Response“

7. „Security Mode Command“

Zpráva informuje UE, aby začalo provádět šifrování. Na obrázku č. 7.8 je znázorněn obsah zprávy. Obsahuje také informace o použitém algoritmu šifrování. V tomto případě je pro šifrování použit algoritmus UEA1 a pro ochranu integrity algoritmus UIA1. Více informací o použitém šifrování lze nalézt v [8].



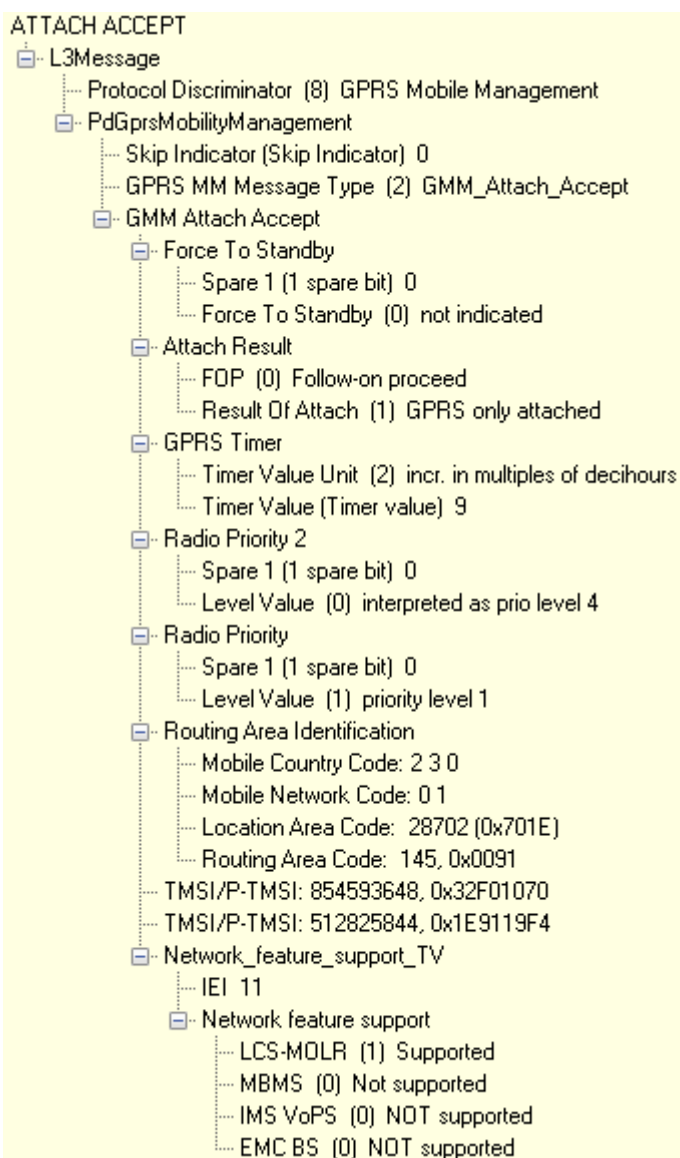
Obrázek 7.8: Zpráva „Security Mode Command“

8. „Security Mode Complete“

UE informuje síť o tom, že již probíhá šifrované spojení.

9. „Attach Accept“

Zpráva informuje UE o tom, že již má přístup do sítě. Zpráva na obrázku č. 7.9 obsahuje informace o výsledku přihlášení do sítě, případně „Routing Area Identification“.



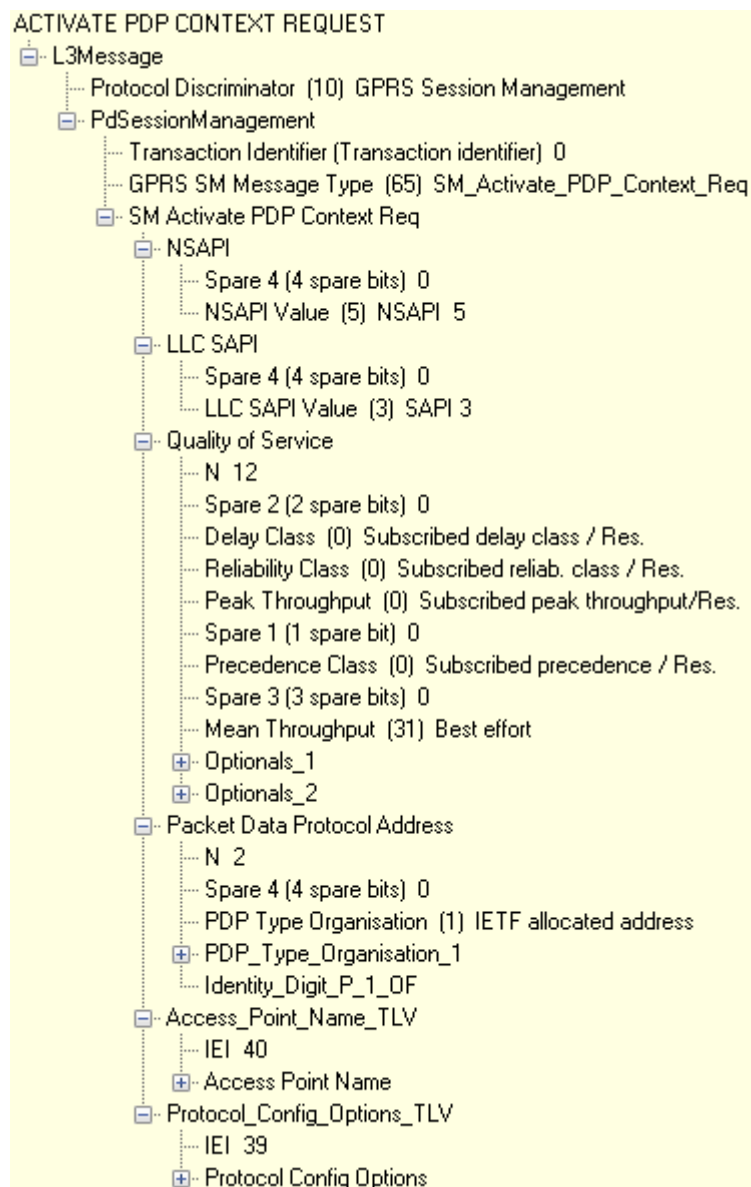
Obrázek 7.9: Zpráva „Attach Accept“

10. „Attach Complete“

Zpráva je zaslána s informací o úspěšném připojení do sítě.

11. „Activate PDP Context Request“

UE zasílá zprávu jako požadavek o aktivování paketového spojení a přechází do stavu „1st PDP Request“. Zpráva na obrázku č. 7.10 obsahuje informace o NSAPI, LLC SAPI, QoS, PDP Address, AP Name TLV, Protocol Config Options TLV.



Obrázek 7.10: Zpráva „Activate PDP Context Request“

12. „Radio Bearer Setup“

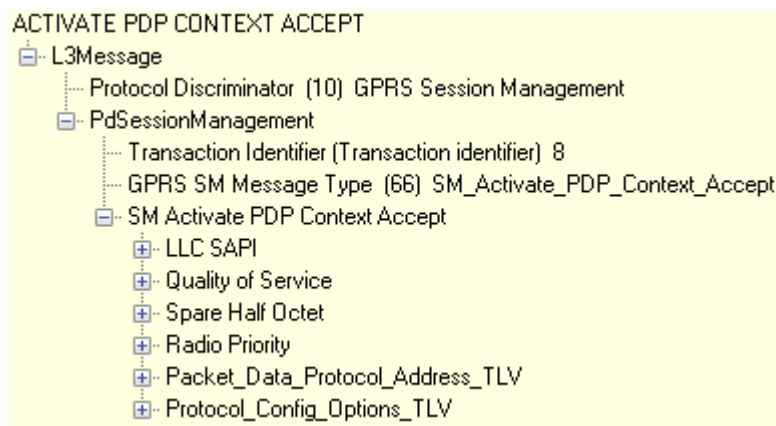
Zpráva obsahuje informace o vytvoření nových rádiových kanálů.

13. „Radio Bearer Complete“

Zpráva informuje síť o vytvoření nových kanálů.

14. „Activate PDP Context Accept“

Touto zprávou je již navázáno šifrované paketové spojení a lze zahájit komunikaci. UE přechází do stavu „PDP established“. Zpráva obsahuje informace z obrázku č. 7.11.



Obrázek 7.11: Zpráva „Activate PDP Context Accept“

7.2 R&S ROMES náhledy pro UMTS/HSPA

Pro přehlednější zobrazení naměřených dat lze použít několik náhledů. Kromě základních náhledů „2D Chart View“, „Alphanumeric View“ a „Event View“ popsaných v kapitole 6.4 lze použít také následující náhledy pro UMTS/HSPA.

7.2.1 UMTS Cell Set View

Náhled „UMTS Cell Set View“ na obrázku č. 7.12 zobrazuje přehled parametrů první vrstvy buňky, která nám právě poskytuje spojení.

- **UARFCN** – Číslo kanálu absolutní rádiové frekvence.
- **Ec/Io** – Poměr přijatého výkonu z čipu PN a celkového přijatého výkonu na anténním konektoru.
- **RSCP** – Úroveň signálu.
- **SC** – Hlavní scrambling code.

Active Set <<<<								
#	Serving	UARFCN	Ec/Io[dB]	RSCP[dBm]	SC	Node B	HSUPA	
1	Yes	10836	-3.2	-67.2	165	---	---	

Neighbour Set <<<<						
#	UARF...	Ec/Io...	RSCP...	SC	State	Node B

Obrázek 7.12: Náhled „UMTS Cell Set View“

7.2.2 UMTS HSDPA HS Decode Status View

Pomocí náhledu „UMTS HSDPA HS Decode Status View“ na obrázku č. 7.13 lze zobrazit průběh dekódování přijatých vzorků dat poskytnutých mobilním telefonem. Každý vzorek lze zobrazit detailně a zjistit podrobné detaily.

[illegible]

Obrázek 7.13: *Náhled UMTS HSDPA HS Decode Status View*

Na obrázku č. 7.14 se nachází detailní pohled na vzorek. Lze vyčíst použitou modulaci 16QAM pro přenos dat pomocí technologie HSDPA. Detailní náhled lze otevřít pomocí dvojklíku na libovolný zvolený vzorek z obrázku č. 7.13.

SCCH Demod : Attempted
SCCH Valid : Yes
DSCH Status : CRC Pass
Transmission : New Transmission
Modulation Scheme : 16QAM
#HS-DSCH codes : 5
Code Group : 4
HARQ Process ID : 0
Redundancy Version Xrv : 0
Transport Block Size : 8729 bits

Obrázek 7.14: Náhled vzorku dekódování

7.2.3 UMTS HSDPA Decode Statistic View

Náhled „UMTS HSDPA Decode Statistic View“ na obrázku č. 7.15 zobrazuje statistický výpočet přijatých DL HS-DSCH transportních bloků. Náhled obsahuje informace o velikosti transportního bloku (TBS), chybovost dekódování (SBLER, BLER), případně kolik přenosů bylo zapotřebí pro úspěšné dekódování (#1, #2 až #>5). Obsahuje informace o tom, kolik bylo úspěšně či neúspěšně dekódováno bloků a sub-bloků (SB+, SB-, BL+, BL-), případně kolik bylo duplikovaných sub-bloků (SB++).

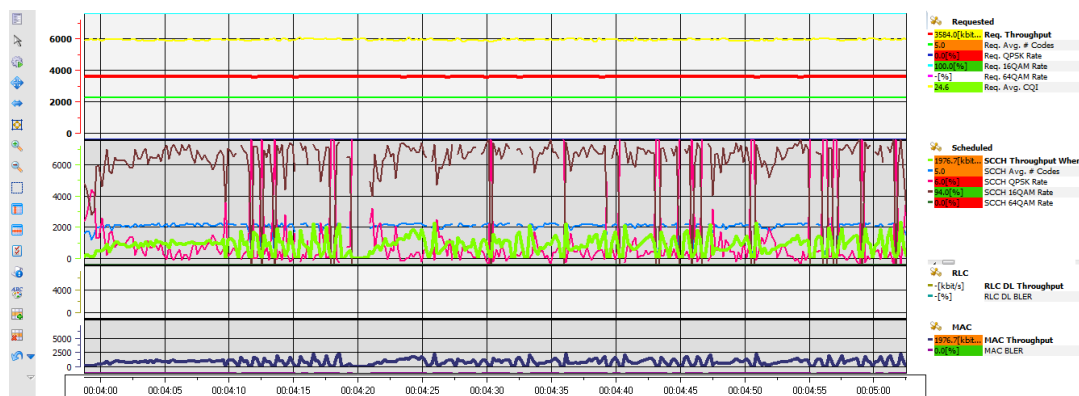
#	TBS	SB+	SB++	SB-	SBLER [%]	BL+	BL-	BLER [%]	# 1 [%]	# 2 [%]	# 3 [%]	# 4 [%]	# 5 [%]	#>5 [%]
1-1	1405	2	0	0	0.00	2	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	8729	80	0	0	0.00	80	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	3762	3	0	0	0.00	3	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	1773	5	0	0	0.00	5	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	866	3	0	0	0.00	3	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	2492	1	0	0	0.00	1	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	5382	11	0	0	0.00	11	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	4189	1	0	0	0.00	1	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	2928	6	0	0	0.00	6	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	1074	2	0	0	0.00	2	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	7840	1	0	0	0.00	1	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-1	7041	6	0	0	0.00	6	0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Obrázek 7.15: *Náhled "UMTS HSDPA Decode Statistic View"*

7.2.4 UMTS HSDPA Performance View

Náhled „UMTS HSDPA Performance View“ uvedený na obrázku č. 7.16 obsahuje pět přednastavených 2D grafů, které zobrazují průběh přenosu. Zobrazuje informace o požadované

přenosové rychlosti (hodnoty „Requested“). Zobrazuje informace o poskytnuté přenosové rychlosti ze strany sítě (hodnoty „Scheduled“). Z analyzovaného vzorku je patrné, že požadovaná přenosová rychlost UE je konstantní (3584 kbit/s), což odpovídá schopnostem UE. Naproti tomu přenosová rychlost poskytnutá sítí kolísá. Kolísání je patrně zapříčiněno slabým pokrytím v měřené oblasti, případně pohybem UE uvnitř budovy.



Obrázek 7.16: Náhled "UMTS HSDPA Performance View"

8 Zadání pro odborný předmět

První zadání pro odborný předmět se zabývá analýzou signalizace v síti GSM. Druhé zadání se poté zaměřuje na analýzu signalizace v síti 3G.

8.1 Zadání GSM

Studenti si před cvičením nastudují kapitolu 4.1, která popisuje signalizaci v síti GSM a následnou analýzu pomocí R&S ROMES. Dále v průběhu cvičení budou studenti používat informace z kapitoly 6.

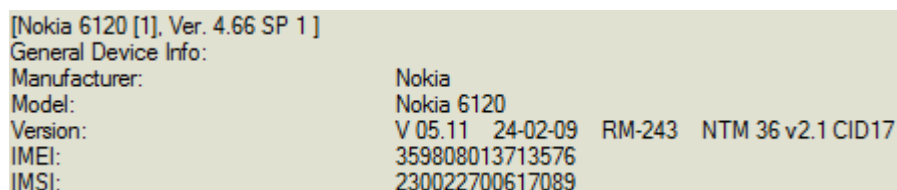
8.1.1 Zadání

- Zjistěte, ve kterém čase došlo k příchozímu/odchozímu hovoru. (Začátek navazování spojení a jeho ukončení).
- Zjistěte parametry probíhajícího hovoru (použitý kanál, timeslot).
- Zjistěte, ve kterém čase došlo k handoveru.
- Zjistěte údaje o vysílači a útlumu ve zvoleném čase. (BSIC, CI, ARCFN, RxLev).
- Zjistěte IMEI, IMSI, MEISV, TMSI použitého mobilního telefonu.
- Zobrazte graf s průběhem úrovně signálu.

8.1.2 Postup

Jednotlivé zadané parametry lze zjistit v náhledech popsanych v kapitole 5, 6.4 a 7.2.

- Čas sestavení spojení zjistíme z náhledu „Layer 3“, případně v náhledu „Event View“. Sestavování odchozího hovoru začíná zprávou „Channel Request“. Sestavování příchozího hovoru začíná zprávou „Paging Request“. Ukončení spojení poté probíhá zprávou „Disconnect“.
- Ke zjištění parametrů probíhajícího hovoru použijeme náhled „Alphanumeric View“, ve kterém necháme zobrazit požadované parametry.
- Čas handoveru lze zjistit v náhledu „Layer 3 View“, „3GPP Handover Analyzer View“, případně v náhledu „Event View“. Handover začíná zprávou „Handover Command“ a končí zprávou „Handover Complete“.
- Informace naleznete v náhledu „GSM Cell Set View“, případně „Alphanumeric View“.
- Hodnoty IMEI a IMSI zjistíme v nabídce „File“ – „Measurement Info“, v tomto okně se zobrazí údaje o zaznamenaném měření. Nalezněte část z obrázku č. 8.1, která obsahuje tyto údaje. Hodnotu MEISV lze zjistit ve zprávě „Identity Response“. Hodnotu TMSI zjistíme ze zprávy „CM Service Request“, případně ze zprávy „Paging Response“.



```
[Nokia 6120 [1], Ver. 4.66 SP 1]
General Device Info:
Manufacturer:      Nokia
Model:             Nokia 6120
Version:           V 05.11  24-02-09  RM-243  NTM 36 v2.1 CID17
IMEI:              359808013713576
IMSI:              230022700617089
```

Obrázek 8.1: Hodnoty IMEI a IMSI

- f) Graf zobrazíme v náhledu „2D Chart View“, který je popsán v kapitole 6.4.5.

8.2 Zadání 3G

Studenti si před cvičení nastudují kapitolu 4.2, ve které je popsáno sestavování datového spojení. Během cvičení budou studenti používat informace z kapitoly 7, která obsahuje popis náhledů nástroje R&S ROMES.

8.2.1 Zadání

- Zjistěte IMEI, IMSI, TMSI, IMEISV použitého mobilního telefonu.
- Zjistěte parametry BTS (UARFCN, Ec/Io, RSCP, SC),
- Zjistěte parametry libovolného vzorku přenesených dat.
- Zobrazte graf výkonu a popište požadované a poskytnuté parametry (přenosová rychlost, modulace).
- Zobrazte graf s průběhem aktivity HSDPA.

8.2.2 Postup

- Hodnoty IMEI a IMSI zjistíme v nabídce „File“ – „Measurement Info“, v tomto okně se zobrazí údaje o zaznamenaném měření. Nalezněte část z obrázku č. 8.1, která obsahuje tyto údaje. Hodnotu TMSI lze zjistit ze zprávy „RRC Connection Request“. IMEISV poté nalezneme ve zprávě „Authentication And Ciphering Response“.
- Parametry BTS zjistíme v náhledu „UMTS Cell Set View“.
- Vzorky přenesených dat nalezneme v náhledu „UMTS HSDPA HS Decode Status View“. Detaily vzorku zobrazíme dvojklikem na požadovaný vzorek. V detailním náhledu se již zobrazují parametry vzorku jako je použitá modulace, nebo velikost transportního bloku.
- Graf výkonu nalezneme v náhledu „UMTS HSDPA Performance View“. V náhledu se nachází průběh datového spojení včetně přenosových rychlostí.
- Graf průběhu aktivity HSDPA nalezneme v náhledu „2D Chart View“, kde v konfiguračním menu zvolíme možnost „HSDPA Active“.

9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo analyzování signalizace v mobilních sítích v rámci vzdušného rozhraní. Dále bylo za cíl vytvořit dvě komplexní cvičení pro odborný předmět a seznámit čtenáře s nástrojem R&S ROMES.

Signalizace probíhá mezi mobilním telefonem a vysílačem prakticky neustále. Dochází k výměně informací o úrovni signálu, o informování mobilního telefonu v případě příchozího hovoru apod. Díky analýze signalizace nástrojem R&S ROMES může servisní technik zjistit například důvod výpadků signálu v určité oblasti.

Teoretickou částí této práce bylo popsání signalizace, kde byl popsán princip signalizace a použité kanály a protokoly. S touto částí navázala část s úvodem k analýze, ve které byl popsán samotný průběh sestavování spojení.

V praktické části bylo analyzováno sestavení hovorového spojení v síti GSM. Při sestavování spojení došlo k ukončení spojení ze strany zdrojové MS, kdy byla cílová MS pouze prozvoněna. Byl zjištěn průběh grafu zobrazující kvalitu signálu v síti GSM. Bylo zjištěno, že navazování 2G hovoru trvalo 4 vteřiny. Tuto skutečnost si lze ověřit každým mobilním telefonem tak, že při vytočení čísla je ve sluchátku před zvukem vyzvánění chvíli ticho. Z analýzy datového spojení v síti 3G byl zjištěn průběh aktivity datové sítě HSDPA. Byly zjištěny údaje o použité modulaci během spojení, byl zjištěn také graf aktivity HSDPA, ve kterém byl zaznamenán časový průběh signálu znázorňující, kdy bylo aktivní spojení HSDPA. MS v průběhu datového spojení neustále požadovala poskytnutí spojení HSDPA v maximální podporované rychlosti. Poskytnutá rychlost kolísala z důvodu pokrytí území, případně z důvodu pohybu MS uvnitř budovy. Navázání datového spojení trvalo 5 vteřin. Okolní vysílače pro 3G síť nebyly zaznamenány z důvodu špatného pokrytí v době provádění měření.

V další části bylo cílem napsání zadání pro odborný předmět, které bude obsahovat analýzu sítí 2G a 3G. Každé zadání obsahuje více bodů, které lze modifikovat k zobrazení odlišných údajů. Studenti si před cvičením nastudují sestavení spojení a během cvičení budou moci použít popis nástroje R&S ROMES z této práce.

Vlastním přínosem bakalářské práce je zmapování oblasti mobilních komunikací a rozšíření znalostí během analýzy zaznamenaných měření.

V případě dalšího rozvoje práce je možné provést vlastní měření za simulovaných podmínek. Například umístění MS při aktivním spojení do zastíněné oblasti a následná analýza v nástroji R&S ROMES. Případně zaznamenání GPS souřadnic během spojení a zobrazení trasy. Dále by bylo možné provést terénní měření v hůře pokrytých oblastech a navrhnout kroky pro zlepšení pokrytí.

Při psaní bakalářské práce byla použita odborná literatura ze seznamu použité literatury. Práce může sloužit studentům k nastudování problematiky signalizace v mobilních sítích.

Použitá literatura

- [1] HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. 1. Vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2005, 171 s. ISBN 80-214-2817-1
- [2] MOLISCH, Andreas F. *Wireless communications*. 2nd ed. Chichester, West Sussex, U.K.: IEEE, 2011, Ivi, 827 p. ISBN 04-707-4186-4
- [3] EBERSPÄCHER, Jörg, VÖGEL Hans-Jörg, BETTSTETTER Christian. *GSM Switchnig, Services and Protocols*. Second Edition. 2001 John Wiley & Sons Ltd, ISBN 0-471-49903-X
Online ISBN 0-470-84174-5
- [4] KAPPLER, Cornelia. *UMTS Networks and Beyond*. 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-0-470-03190-2
- [5] TS 25.331. *RRC Protocol Specification*. 3GPP.
- [6] R&S ROMES4 Version 4.66 Operating Manual
- [7] Mapa BTS stanic. [online]. Dostupné z: <http://www.gsmweb.cz>
- [8] ETSI TS 135 201. *Universal Mobile Telecommunications Systém (UMTS); Specification of the 3GPP confidentiality and integrity algorithms*. ETSI, 2007.